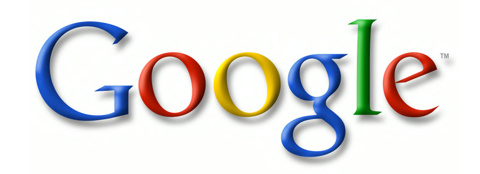




ZEITSCHRIFT

FÜR

BIOLOGIE

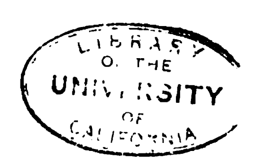
VON

W. KÜHNE, UND **C. VOIT,**

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN HEIDELBERG, O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN MÜNCHEN.

NEUE FOLGE: DRITTER BAND.

DER GANZEN REIHE: EINUNDZWANZIGSTER BAND.



MÜNCHEN UND LEIPZIG 1885.

DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.

Inhalt.



Untersuchungen über den thierischen Stoffwechsel unter dem Einflusse einer künstlich erhöhten Körpertemperatur.

Von

Dr. N. P. Simanowsky in Petersburg.

Aus dem physiologischen Institute in München.

Es gibt in der Pathologie wenige so wichtige Fragen, wie diejenige von dem Process des Fiebers und die von der Bedeutung der Temperaturerhöhung des Organismus für die gesammte Oekonomie des letzteren. Aus einer Anzahl der mannigfaltigsten und für die Pathologie des Fieberprocesses sehr bedeutungsvollen Beobachtungen hat sich eine umfassende, klinische Literatur entwickelt, und haben sich die verschiedenartigsten Ansichten über die Bedeutung dieses Processes für den Organismus ausgebildet. Einige Forscher befassten sich mit dem Studium gewisser Fieberformen von einem bestimmten Typus, wie sie sich z. B. nach infectiösen Einwirkungen abspielen, und da sie dabei eine mehr oder weniger ausgesprochene Erhöhung der Körpertemperatur über die Norm beobachteten, so schrieben sie den deletären Einfluss des gerade vorliegenden, krankhaften Processes auf den Organismus hauptsächlich dieser Temperaturerhöhung zu. Auf solcher Grundlage wurde das ganze System der antipyretischen Heilmethode des Fiebers gegründet.

Hingegen bemerkten andere Beobachter sehr wohl, dass nicht immer ein gerades Verhältniss zwischen dem deletären Einfluss eines gegebenen fieberhaften Processes und der Höhe der sich dabei entwickelnden Körpertemperatur des kranken Organismus besteht, und

so leiteten sie den ungünstigen Einfluss des ganzen Processes von der Infection selbst ab, d. h. von einem bei der letzteren dem Körper zugeführten, mehr oder weniger unbekannten Gift. Und so kamen sie zu der Ueberzeugung, dass zwischen der Stärke dieses Giftes bei einer gegebenen Erkrankung und der Art und Ausdehnung verschiedener pathologisch-anatomischer Affectionen in den einzelnen Organen des Körpers ein innigerer Zusammenhang bestehe, als zwischen der Temperaturerhöhung in einem gegebenen Falle und den consecutiven Gewebsveränderungen.

Indessen aber fasste in der Pathologie die Ansicht festen Fuss, dass das Fieber immer mehr oder weniger schädlich auf den Organismus einwirkt, namentlich dadurch, dass es letzteren zwingt in einem kurzen Zeitraum ein gegen die Norm übergrosses Quantum seiner eigenen Gewebe zu verbrauchen. Letzteres Moment gibt sich, wie bekannt, in einer erhöhten Absonderung der Producte der regressiven Metamorphose kund. In dieser Hinsicht ist schon seit längerer Zeit beobachtet worden, dass beim Fieber die Quantität der Excretionsproducte des Zerfalls der stickstoffhaltigen Stoffe im Harn zunimmt. Die Veränderungen anderer, namentlich der gasförmigen, durch Haut und Lungen abgeschiedenen Producte des Stoffwechsels, deren genaue quantitative Bestimmung einen complicirteren Apparat erfordert, sind erst später in Untersuchung gezogen worden.

Nach diesen Erfahrungen erschien es von Wichtigkeit, auf experimentellem Wege die Vorgänge des Stoffwechsels bei erhöhter Körpertemperatur zu studiren.

Es liegen schon vielfache mühsame Versuche der Art über die Bedeutung der Erhöhung der Körpertemperatur an und für sich beim Fieber, und über deren mächtigen Einfluss auf die Lebensthätigkeit und auf die Functionen der Zellen und Gewebe des Körpers vor.

Um es bei der Erhöhung der Körpertemperatur nur mit dieser allein zu thun zu haben und nicht zugleich mit dem infectiösen Gift, welches in der Mehrzahl der natürlich vorkommenden Fieberformen das ursächliche Moment ist, hat man die Temperatur des Thierkörpers künstlich erhöht, und zwar durch Einwirkung heisser Luft- und Wasserbäder, und dann unter solchen Bedingungen zu-

nächst die Menge des von dem Organismus im Harn abgesonderten Harnstoffs beobachtet. Hierher gehören vor allem die Versuche von Bartels, Naunyn, Schleich, Frey und Heiligenthal und Koch. Kaupp (Archiv f. physiol. Heilkunde 1855 u. 1856) hatte angegeben, dass bei höherer Lufttemperatur weniger Harnstoff sich finde. Bartels[1]) will zuerst bei einem Menschen, dessen Eigentemperatur durch ein Dampfbad von 53° C. auf 40—41,6° C. erhöht worden war, eine Vermehrung der Absonderung des Harnstoffs (nach Liebig's Methode bestimmt) gefunden haben. Da jedoch bei diesen Versuchen noch keine besondere Rücksicht auf den gleichbleibenden Ernährungszustand und auf das Gleichgewicht in dem in den Einnahmen und Ausgaben des Menschen enthaltenen Stickstoff genommen wurde, können die Resultate nicht als beweisende angesehen werden.

Naunyn[2]) experimentirte an einem kleinen Hunde, dem täglich die gleiche Menge Pferdefleisch gereicht wurde. Nach einem dreistündigen Dampfbad, bei welchem die Körpertemperatur des Thieres von 38,8° C. auf 42,5° C. gestiegen war, wurde eine Zunahme der täglichen Harnstoffmenge von 6,7 auf 9,76 (nach Liebig's Methode bestimmt) bemerkt. Da aber nur ein einziger Versuch gemacht wurde und auch andere Bedingungen, welche zur Erhaltung richtiger Resultate nothwendig sind, nicht eingehalten wurden, so kann man auch diesem Versuche keine entscheidende Bedeutung in der vorliegenden Frage zuerkennen.

1) Bartels, Greifswalder Med. Beitr. 1864 Bd. 3 Heft 1.

Harnstoff für 24 Stunden:

22,00		34,65
21,94		24,10
25,84	Bad	24,93
23,04	Bad	24,48
19,58	Bad	

2) Naunyn, Berliner klinische Wochenschrift (1869) Nr. 4; Archiv f. Anatomie und Physiologie (1870) S. 159.

Harnstoff in 24 Stunden:

6,9	6,3
6,4	7,3
6,9	9,76 Bad.

Ferner hat Gust. Schleich [1]) 6 Versuchsreihen an Menschen angestellt und dabei nicht nur in den nächsten 24 Stunden nach dem einstündigen warmen Vollbade von 38—42,5° C., sondern auch den Tag darauf noch eine beträchtliche Vermehrung der Harnstoffausscheidung (zumeist nach Hüfner und Liebig bestimmt) gefunden; es war sogar mehrmals die Menge des Harnstoffs am zweiten Tage noch grösser wie am ersten. Es wurde dabei zwar darauf geachtet, dass die Mengen der aufgenommenen Nahrungsmittel Tag für Tag die gleichen waren, aber die Zusammensetzung derselben konnte leicht eine wechselnde sein, wovon Schleich hauptsächlich die namentlich in der ersten Versuchsreihe noch vorhandenen ziemlich beträchtlichen Schwankungen in der Harnstoffausscheidung ableitet. Wollte man an den Versuchen Schleich's etwas aussetzen, so wäre es, dass für die Herstellung des Stickstoffgleichgewichtes kein Beweis vorliegt und dass der Harn häufig nur nach der Methode von Hüfner untersucht wurde, welche bekanntlich nicht allen Stickstoff in demselben angibt. Aber im grossen Ganzen erschienen die Versuche Schleich's als einwandfrei und sprachen entschieden für eine Erhöhung der Eiweisszersetzung unter dem Einfluss des warmen Bades und für eine tiefgreifende Wirkung desselben auf den Körper.

Kostjurin [2]) hat unter der Leitung von Manassein am Menschen bei strenger Diät die Zusammensetzung des Harns an Tagen ohne und mit Dampfbad und auch 4 Stunden vor und 4 Stunden nach einem Dampfbade bestimmt. Es fand sich im Mittel aus 21 Beobachtungen der Art:

4 Stunden	vor	dem	Dampfbad	3,36 g	Stickstoff.
4 „	nach	„	„	5,62	„
1 Tag	vor	„	„	13,21	„
1 „	nach	„	„	15,38	„
2 „	„	„	„	15,86	„

1) Schleich, Archiv f. experimentelle Pathologie und Pharmakologie 1875 Bd. 4 S. 82. Ueber das Verhalten der Harnstoffproduction bei künstlicher Steigerung der Körpertemperatur. Diss. inaug. Tübingen 1875.

2) Nach einer Mittheilung von Frey und Heiligenthal.

In der Broschüre von A. Frey und F. Heiligenthal über die Wirkung der heissen Luft- und Dampfbäder in Baden-Baden (1881 S. 86—130) sind ebenfalls Versuche am Menschen über den Gang der Ausscheidungen durch den Harn verzeichnet. Sie geben an bei stets gleichbleibender Diät, durch welche das Gleichgewicht im Stoffwechsel erhalten wurde, ihre Versuche gemacht zu haben, jedoch liegt ein Beweis dafür nicht vor; sie haben besonders die Harnausscheidung berücksichtigt und den Harn des ganzen Tages untersucht. Der Harnstoff wurde nach Liebig ohne weitere Cautelen bestimmt. Die tägliche Harnstoffausscheidung war folgende:

	1.		2.	
1. normal	46,40	45,47	54,25	55,28
2. „	44,10		57,00	
3. „	45,90		57,60	
4. Luftbad	39,90	45,85	46,00	55,23
5. „	48,30		56,25	
6. „	49,35		63,45	
7. normal	61,20	52,68	62,70	60,51
8. „	49,30		61,05	
9. „	44,55		57,80	
10. Dampfbad	38,70	49,75	58,50	61,68
11. „	51,75		60,75	
12. „	58,80		65,80	
13. normal	57,75	54,95	65,45	63,32
14. „	52,16		61,20	

Sie schliessen aus diesen Zahlen, dass durch die Einwirkung der Wärme am ersten Tage eine Verminderung, an den späteren Tagen eine Erhöhung der Harnstoff-Ausscheidung eintritt, welche letztere noch einige Tage nachwirkt. Die anfängliche Verminderung des Harnstoffes leiten sie von einer Retention desselben in den Geweben ab. Sie nehmen also einen grösseren Zerfall N-haltiger Substanzen als Wirkung des heissen Bades an.

Nachdem es so durch alle diese Arbeiten sichergestellt zu sein schien, dass bei erhöhter Körpertemperatur der Umsatz der stickstoffhaltigen Stoffe ein grösserer ist, hat in neuerer Zeit C. F. A.

Koch[1]) in dem Laboratorium von Professor Stokvis in Amsterdam eine Reihe von Versuchen an sich selbst und an Kaninchen ausgeführt, bei welchen er auffallenderweise zu ganz anderen Resultaten gekommen ist wie seine Vorgänger. Es muss bemerkt werden, dass auch Senator (Archiv f. path. Anat. Bd. 48) aus Untersuchungen an einem Tetanischen, dessen Temperatur 39—41° C. betrug, schloss, dass die erhöhte Temperatur an und für sich die Harnstoffproduction nicht zu steigern vermag. Für die Versuche an sich selbst benutzte Koch warme Bäder, in denen er nie länger als eine Stunde blieb. Die Kaninchen erwärmte er in Käfigen vermittelst heisser Luft. Koch bemühte sich durch Aufnahme der gleichen Nahrung die Menge des täglich abgesonderten Harnstoffs gleichmässig zu machen, jedoch finden sich bei ihm an Nichtbadetagen Schwankungen von 30,85—38,60^{g} Harnstoff d. i. um 25%. Es ist eben sehr schwierig beim Menschen die Qualität der Nahrungsmittel ganz gleich zu halten; auch weiss Koch nicht, ob sein Körper sich im Stickstoffgleichgewichte befand.

Die Bestimmung des Harnstoffs wurde nach der Methode von Liebig mit den von Pflüger hierzu vorgeschlagenen Abänderungen ausgeführt; er hat aber nicht geprüft, wie weit genau er damit den im Harn enthaltenen Stickstoff bestimmte. Das Bad, in welches Koch bei einer Temperatur des Wassers von 37° C. eintrat, wurde rasch auf 39 und 40° C. gebracht. Die Körpertemperatur erreichte dadurch einige Male 39,6° (betrug indessen gewöhnlich weniger), eine Stunde nach dem Bade war sie bereits wieder normal. Unter diesen Verhältnissen sah Koch immer, wenngleich unbedeutend, die Harnstoffausscheidung sinken, und niemals auch nur die geringste Vermehrung derselben. Das gleiche Resultat stellte sich auch bei Versuchen an Kaninchen heraus, deren Nahrung eine ganz gleichmässige war; es wurde ihnen nämlich dreimal des Tages durch die Magensonde je 80^{ccm} Milch eingeflösst. Die Erwärmung der Thiere in dem Wärmekasten, dessen Innentemperatur 38—39° betrug, dauerte 2—4 Stunden, ihre Körpertemperatur stieg dabei von 39,3 auf 44° C.; auch hier war nach einer Stunde die Temperatur wieder

1) Koch, Zeitschr. f. Biologie 1883 Bd. 19 S. 447.

die normale. Es wird jedoch kaum möglich sein an Kaninchen die Frage zu entscheiden, da der Harn derselben nur mit Verlust aufgefangen werden kann und die Thiere denselben nicht vollständig am Ende des Versuchstages entleeren.

Ausser dem Harnstoff wurde von Koch auch beständig die Menge der Harnsäure, der Schwefel- und Phosphorsäure und des Chlors im Harn bestimmt. Bei den Selbstversuchen des Autors konnte eine erhebliche Abweichung dieser anorganischen Bestandtheile des Harns von der Norm nicht constatirt werden; die Menge der Phosphorsäure und des Chlors zeigte eine geringe Verminderung. Bei den Kaninchen dagegen war unter dem Einflusse der Erhitzung die Abscheidung der Phosphorsäure um ein geringes vermindert.

Koch machte auch Versuche über die Quantität der von den Kaninchen durch die Lungen ausgeschiedenen Kohlensäure. Zu diesem Zweck wurde ein hungerndes Thier, welches täglich dreimal je 80^{ccm} Wasser erhielt, ausgewählt und dasselbe tracheotomirt. Die Trachealkanüle communicirte mit Müller'schen Ventilen und vermittelst letzteren mit einem System mit Aetzbarytlösung von bekannter Concentration gefüllter Glasröhren. Zuerst wurde bei gewöhnlicher Zimmertemperatur an dem auf einem Brett vertical befestigten Thier die Menge der während $^1/_4$ Stunde ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt, dann die gleiche Bestimmung in erwärmter Luft während 15 Minuten gemacht. Es ergab sich nun, dass die unter dem Einflusse der Erhitzung vom Thier ausgeschiedene Kohlensäure mehr als das Doppelte der normalen betrug, indem sie für 1 Stunde berechnet von 368^{ccm} auf 800^{ccm} gestiegen war; dabei erreichte die Temperatur des Kaninchens 41,0^0 C.

Dieses Resultat bei Erwärmung des Thierkörpers ist schon durch Andere erhalten worden und war daher der so angestellte Versuch Koch's gewiss unnöthig. Es ist auch nicht ohne weiteres gestattet, die dabei constatirte Vermehrung der Kohlensäureausscheidung direct als Folge der Temperaturerhöhung des Organismus aufzufassen. Abgesehen von den willkürlichen Bewegungen des Thieres in Folge der Aufspannung und der verticalen Lage sowie der Erwärmung im Wärmekasten tritt bekanntlich durch die Tem-

peraturerhöhung des Körpers eine sehr starke Athembeschleunigung ein, durch welche vermehrte Arbeit der Respirationsmuskeln, wie wir wissen, zwar keine Aenderung im Zerfall der stickstoffhaltigen Stoffe, wohl aber ein sehr vermehrter der stickstofffreien und in Folge davon eine erhöhte Kohlensäureausscheidung stattfindet. Dies ist auch der Grund, warum Lossen und Voit normal bei tieferen oder zahlreicheren Athemzügen mehr Kohlensäure gefunden haben. Koch erwähnt (S. 458), dass gleich nach dem Einbringen des Kaninchens in den Wärmekasten dasselbe schnell zu athmen anfängt und auch anfangs sehr unruhig ist, später aber wie gelähmt niederstürzt. Ausserdem ist wohl zu beachten, dass hier die Kohlensäureausscheidung unter dem fortdauernden Einflusse der Erwärmung des Körpers untersucht wurde, während es sich bei den Harnstoffbestimmungen nur grösstentheils um die Nachwirkung einer etwa einstündigen Erwärmung auf 24 Stunden in dem wieder bei normaler Temperatur befindlichen Körper handelt.

Da nach obiger Darstellung die verschiedenen Autoren, welche sich mit dem vorliegenden Gegenstande beschäftigt haben, zu theilweise sich völlig widersprechenden Resultaten gelangt sind, so waren erneute Beobachtungen nöthig, bei denen alle Fehlerquellen möglichst vermieden waren.

Die Hauptbedingung für die Anstellung solcher Versuche ist bekanntlich die, dass der Organismus vorher in einen Zustand versetzt wird, in welchem die Zersetzungen sich gleich bleiben oder innerhalb unbedeutender Grenzen schwanken; namentlich gilt es die Stickstoffausscheidung zu einer gleichmässigen zu machen, ehe man den Einfluss irgend eines Agens auf den Eiweisszerfall prüfen will.

Man kann dies nach Voit auf zweierlei Weise erreichen. Einmal indem man täglich so viel stickstoffhaltige Substanz dem Körper in der Nahrung zuführt als zum Zerfall gelangt. Man muss zu dem Zwecke längere Zeit eine Nahrung von gleicher Zusammensetzung zuführen und abwarten bis das Stickstoffgleichgewicht in den Einnahmen und Ausgaben erreicht ist. Dies ist bis jetzt bei keiner der vorliegenden Untersuchungen geschehen; nur Schleich macht einen annähernden Versuch dazu, wenn auch Naunyn, Schleich und

Koch längere Zeit die nämliche Nahrungsmenge darreichten. Es ist beim Menschen immer schwierig und nur unter besonderen Veranstaltungen möglich auf die Dauer das Stickstoffgleichgewicht zu erhalten. Von der wechselnden Qualität der Nahrungsmittel rühren vorzüglich die täglichen Schwankungen in der Absonderung des Harnstoffs bei anscheinend gleicher Nahrung her (s. Schleich S. 87, 88, 89; Koch S. 454, 455, 456).

Bei Hunden, deren Nahrung viel einfacher zusammengesetzt werden kann als die des Menschen, sind diese Schwierigkeiten leichter zu vermeiden.

Die gleichmässige Stickstoffausscheidung lässt sich aber auch nach Voit auf eine andere Weise erreichen, nämlich unter gewissen Voraussetzungen beim Hunger, der vom Hunde auf längere Zeit ertragen wird.

Bei fettarmen Thieren, welche vorher in ihrem Futter reichlich Eiweiss erhalten haben, findet bekanntlich in den ersten Tagen des Hungers eine rasche Abnahme des Zerfalls der stickstoffhaltigen Stoffe statt, welcher dann für einige Zeit ein langsames geringes Absinken folgt, bis zuletzt wieder eine erhebliche Steigerung desselben eintritt. Auch in dem Verbrauch des Fettes sieht man nach Rubner und Kuckein[1]) ein langsames Sinken, bis zuletzt bei der Erhöhung des Eiweisszerfalls nur wenig oder gar kein Fett mehr verbrannt wird. Die mittlere Zeit des fast völligen Gleichbleibens der Zersetzung ist um so länger, je länger der im Thier befindliche Fettvorrath währt, und sie wird rascher erreicht, wenn vorher wenig Eiweiss mit reichlich stickstofffreien Stoffen in der Nahrung gereicht worden war. Man muss daher, um in dieser Zeit Versuche anstellen zu können, ein älteres fettes Thier wählen, welches vorher die gewöhnliche gemischte Kost erhalten hat.

Wir bedienten uns zur Entscheidung der gestellten Frage der zweiten Methode, weil bei der geringen Stickstoffmenge beim Hunger eine Vermehrung der Stickstoffausscheidung und des Eiweisszerfalles am deutlichsten und sichersten hervortritt; wir wählten daher zu unseren Versuchen, die im Wintersemester 1883/84 angestellt wurden, einen

1) Rubner, Zeitschr. f. Biologie 1881 Bd. 17 S. 214, 1883 Bd. 19 S. 313; Kuckein 1882 Bd. 18 S. 17.

nicht mehr jungen, fetten Hund von 20 Kilo Körpergewicht, eine sog. Bulldogge, aus.

Um sicher zu sein, dass das Versuchsthier während der Hungerperiode stets über einen hinreichenden Vorrath von Fett verfügte und denselben nicht vollständig in dem Zeitraume, der für die Hungerversuche bestimmt war, einbüsste, setzten wir vor Beginn der Hungerreihe zu dem gewöhnlichen gemischten Futter täglich noch Schweinefett, 20—150 g, hinzu, je nachdem das Unterhautfettgewebe des Thieres uns mehr oder weniger entwickelt erschien.

Der Harn wurde dem weiblichen Thiere stets mittelst des Katheters entnommen und zwar gewöhnlich zweimal des Tages, nämlich vor Beginn des Versuchstages (10 Uhr 30 Min. Vormittags) und um 5 Uhr Nachmittags; jedes Mal wurde darnach die Harnblase mit zwei Spritzen zu je 15 ccm einer 2 proc. Carbolsäurelösung ausgewaschen, so dass man versichert sein konnte, dass auch nicht ein Tropfen Harn in der Blase zurückblieb.

Die Kothmenge wurde für die ganze Versuchsreihe festgestellt und daraus der auf den Tag treffende Antheil berechnet. Der der Hungerperiode angehörige schwarze Koth wurde wie gewöhnlich durch Aufnahme von Knochen vor und nach der Hungerperiode genau abgegrenzt.

Der Stickstoff wurde sowohl im Harn wie auch im Koth durch Verbrennen mit Natronkalk, ersterer in Kolben, nach der Schneider-Seegen'schen Methode, letzterer nach Will-Varrentrapp bestimmt.

Ausserdem wurde auch die durch Haut und Lunge entweichende Kohlensäure mit dem von Prof. Voit beschriebenen kleinen Respirationsapparat ermittelt.

Der Hund war früher schon vielfach zu Versuchen mit dem Respirationsapparat benutzt worden und in Folge dessen daran gewöhnt; er lag zumeist die ganze Zeit über zusammengekauert und ruhig in der Kammer ohne jemals darin Harn zu lassen.

Jede Versuchsreihe umfasste einen Zeitraum von 6 Tagen.

Zur Application der warmen Bäder wurde eine grosse Badewanne benützt, die mir Geh. Rath v. Pettenkofer im hygienischen Institut gütigst zur Verfügung stellte; nachdem das Wasser in der-

selben auf 38,0—38,5 ° C. erwärmt worden war, wurde das Thier in das Wasser eingesenkt und dann die Wanne mit einem hölzernen Deckel bedeckt, theils um die zu rasche Abkühlung des Wassers zu verhüten, theils um das Thier im Wasser zurückzuhalten. Nur der Kopf des Thieres ragte durch eine Oeffnung im Deckel aus dem Wasser hervor. Gleich nachdem das Thier in das Wasser gebracht war, wurde letzteres mittels Dampf, der durch eine Röhre innerhalb des Badewassers einströmte, unter fortwährendem Umrühren des Wassers weiter erwärmt. Die Temperatur des Wassers wurde mit einem empfindlichen Thermometer bestimmt und ebenso die des Thieres im Mastdarm. Letzteres gelang nicht immer während des Badens, da unter dem Einflusse des heissen Wassers die Schleimhaut des Mastdarms manchmal so anschwoll, dass sie den eingeführten Thermometer nicht fest umfasste. In diesem Falle wurde die Körpertemperatur gleich nach Beendigung des Bades gemessen.

Die heissen Wasserbäder wurden von uns heissen trockenen Luftbädern vorgezogen, weil die ersteren den Körper rascher auf eine höhere Temperatur bringen als die letzteren.

Während des Bades fiel besonders die ausgesprochene Beschleunigung der Respiration des Thieres auf, welche schon sehr bald nach dem Beginn des Versuches eintrat. Diese sogenannte Wärmedyspnoe zeigte sich in der ausserordentlichen Oberflächlichkeit und Häufigkeit der Athembewegungen, deren Anzahl nicht selten von 12 bis 18 auf 256 bis 336 in der Minute stieg. Fernerhin treten rasch Erscheinungen auf, welche darauf hinweisen, dass trotz dem so sehr beschleunigten Athmen dem Bedürfniss des Körpers an Sauerstoff nur schwer Genüge geleistet wird, denn es lässt sich bei der geringsten zeitweiligen Verlangsamung des Athmens eine bläuliche Verfärbung der Zunge und der Lippen bemerken. Sobald die Athmung wieder beschleunigt wurde, verschwand bald die Cyanose der Schleimhäute und machte der normalen rothen Farbe Platz. Die Athemzüge folgten sich zuletzt so rasch, dass sie nur mit Mühe gezählt werden konnten und dass man unwillkürlich dabei an das Geräusch einer schnellfahrenden Locomotive erinnert wurde.

Sehr interessant war dabei, dass diese Modification des Athmens während des ersten Bades am ausgesprochensten war, später schien

sich das Thier mehr an den Einfluss der Hitze zu gewöhnen und obgleich auch da eine beschleunigte Respiration stets vorhanden war, so war sie doch nicht so beständig und wechselte mit Pausen ab, in denen langsamer geathmet wurde. Die Cyanose der Schleimhäute trat dabei entweder gar nicht oder doch nur in einem kaum bemerkbaren Grade ein.

Die Eigentemperatur des Hundes erreichte ungemein rasch eine bedeutende Höhe, wie dies aus der weiter unten folgenden Tabelle ersichtlich ist; sie erhob sich z. B. innerhalb 7 Minuten von 38,35 ° C. auf 40,4 ° C., und blieb im Verlauf des Bades sowie nach demselben noch ungefähr eine Stunde lang auf dieser Höhe.

Ich bringe zunächst die Protokolle über die Beobachtungen während des Badens in derselben Reihenfolge, wie sie bei den Versuchen angewendet wurde.

1. Erstes Bad.

Zeit	Temperatur des Bades	Temperatur des Hundes	Athemzüge in der Minute
11 h 5 m	(38,5)	38,35	14
11 12	39,4	40,40	292
11 15	39,5	40,50	(50)
11 25	39,5	40,44	—
11 35	39,0	40,40	240
11 50	39,0	40,40	—

Um 11 Uhr 50 Min. wurde der Hund aus dem Bade, welches also 45 Minuten gedauert hatte, entfernt. Es nahm alsbald die Temperatur des Thieres und die Zahl der Athemzüge ab, wie folgende Tabelle lehrt:

Zeit	Temperatur des Hundes	Athemzüge in der Minute
Nach 1/4 Stunde um 12 h 5 m	40,10	14—18
„ 1/2 „ „ 12 20	39,60	—
„ 3/4 „ „ 12 35	39,55	12
„ 1 „ „ 12 50	39,30	—
„ 3 3/4 „ „ 3 40	38,55	—
„ 6 „ „ 5 30	38,70	—

Da bei dem Hunde unter normalen Umständen die Körpertemperatur 38,5 — 38,6 ° C. erreichte, so ist es schwer zu

sagen, ob die von uns nach 6 Stunden gefundene Endtemperatur (38,7) für normal oder noch für etwas erhöht zu halten ist. Jedenfalls ist es zweifellos, dass die Temperaturerhöhung noch eine Stunde nach dem Bade deutlich ausgeprägt war (39,3 ° C.).

2. Zweites Bad.

Zeit	Temperatur des Bades	Temperatur des Hundes	Athemzüge in der Minute
11h 18m	(38,0)	38,4	—
11 21	38,1	—	. 136
11 30	38,5	40,1	—
11 32	39,2	40,1	256
11 38	39,5	40,1	—
11 50	39,5	40,3	—
12 —	39,3	40,4	320
12 10	39,1	40,5	272—320
12 18	39,0	40,5	310

Das Bad dauerte eine Stunde. Gleich nachdem das Thier in das warme Wasser eingebracht worden war, fing seine Temperatur an zu steigen; nach 3 Minuten betrug die Zahl der Athemzüge schon 136 in der Minute. Die Anzahl der Athemzüge betrug nicht fortwährend 256—320, es kamen dazwischen kurze Pausen vor, wo nur 50 Inspirationen in der Minute gemacht wurden.

3. Drittes Bad.

Zeit	Temperatur des Bades	Temperatur des Hundes	Athemzüge in der Minute	Bemerkungen
10h 55m	38,5	38,2	18—20	
10 58	38,8	—	160	
11 5	—	40,5	272	
11 9	38,5	40,5	320	
11 23	39,0	40,6	320	
11 32	39,2	—	—	
11 38	40,1	—	320	dazwischen 173–140 Insp.
11 45	40,6	—	—	
12 —	40,3	—	173	Mittel aus 4 Minuten
12 10	40,1	—	—	
12 11	40,7	—	320	Mittel aus 2 Minuten, dazwischen 248 Insp.
12 13	40,9	—	—	
12 17	41,0	—	268	
12 20	41,0	—	—	

Das Bad währte also hier 1 Stunde 25 Minuten. Der aus dem Bade entfernte Hund wurde rasch trocken gerieben, um die Abkühlung des Körpers durch die Verdunstung des Wassers zu vermeiden. Gleich nach dem Austritt aus dem Bade wurde im Mastdarm eine Temperatur von 40,8 ° C. gemessen, ½ Stunde darnach 14,15 ° C. Darnach kam das Thier in den Respirationsapparat.

4. Viertes Bad.

Zeit	Temperatur des Bades	Temperatur des Hundes	Athemzüge in der Minute	Bemerkungen
10ʰ 55ᵐ	39,7	38,4	16	
11 7	39,7	40,1	312	mit Unterbrechungen
11 15	40,2	—	372	„ „
11 30	40,1	—	--	
11 35	40,2	—	—	
11 40	40,0	—	250	
11 45	39,8	—	—	
11 46	40,1	—	—	
11 55	40,6	—	296	
12 5	41,1	—	296	
12 12	41,0	—	256	Mittel aus 2 Minuten
12 15	41,8	—	—	
12 20	41,6	—	—	

Das Bad dauerte 1 Stunde 25 Min. Der nach dem Bade rasch abgetrocknete Hund hatte im Mastdarm eine Temperatur von 40,8 ° C. Er wurde sodann in den Respirationsapparat gebracht.

Im Nachfolgenden bringen wir weiterhin die Tabellen, in welchen eingetragen sind:

In der ersten die Menge des Stickstoffs, welche von dem Hunde täglich im Laufe einer Versuchsreihe von 6 Tagen im Harn und Koth ausgeschieden wurde, in der zweiten und dritten die bei einem anderen fünftägigen Versuch im Harn und Koth enthaltenen Quantitäten von Stickstoff sowie die durch Haut und Lunge entfernte Kohlensäure, und zwar beim hungernden Thiere unter dem Einfluss einer künstlichen Erhöhung der Körpertemperatur als auch unter normalen Verhältnissen.

Tabelle I.

Versuchstage	Gewicht des Hundes in kg	Harnmenge in ccm	Specifisches Gewicht	Reaction	Stickstoff im Harn in g	Harnstoff aus Stickstoff berechnet	Stikstoff im Kothe[1])	Summe des ausgeschied. Stickstoffs	Bemerkungen
I.	20,39	305 (4 Spr.)	1020	schwach sauer	4,803	10,278	0,110	4,913	
II.	19,93	224 (4 „)	1024	„	3,783	8,095	0,110	3,892	
III.	19,61	230,5 (4 „)	1024	„	3,745	8,015	0,110	3,855	erstes Bad
IV.	19,21	206,0 (4 „)	1024	„	3,482	7,452	0,110	3,592	zweites Bad
V.	18,90	161 (4 „)	1027	„	3,253	6,960	0,110	3,363	
VI.	18,71	134 (4 „)	1031	„	3,032	6,488	0,110	3,142	
VII.	18,47	—	—	—	—	—	—	—	

Die Menge des Harns ist stets mit der zur Ausspülung der Blase verwendeten 2 proc. Carbolsäurelösung angegeben, was wir schon früher erwähnt haben. Nach der Zahl, welche die Harnmenge ausdrückt, ist die Anzahl der Einspritzungen der Carbolsäurelösung angemerkt (Spr.), wobei jede Spritze 15 ccm Flüssigkeit enthält. Das specifische Gewicht des Harnes wurde ebenfalls nach der Verdünnung mit jener Lösung bestimmt.

Aus der vorstehenden Tabelle ersehen wir, dass sich an den beiden Tagen, an welchen die künstliche Erwärmung des Thieres stattfand, die Menge des im Harn abgegebenen Stickstoffes auch nicht im geringsten steigerte; wir müssen folglich annehmen, dass der Zerfall des Körpereiweisses bei dieser Einwirkung sich nicht merklich vergrössert habe. Es findet vielmehr von Tag zu Tag wie gewöhnlich beim Hunger ein geringes Sinken in der Stickstoffausscheidung statt. Es kann auch keine Aufspeicherung stickstoffhaltiger Zersetzungsproducte während der Badetage stattgefunden haben, da an den zwei Tagen nach den Badetagen keine Steigerung jener Producte zu bemerken ist.

Um zu sehen, ob nicht während der Badezeit eine grössere Zersetzung der stickstoffhaltigen Stoffe stattfindet, wurde der Harn um 12 Uhr 30 Min. und dann am Ende des Versuchstages um 10 Uhr 30 Minuten Vormittags abgenommen. Dabei wurde erhalten:

1) Der trockene Koth der 6 Tage wog 9,9 g.

	Harnmenge	N im Harn
III.	a) 44,5	0,253
	b) 186,0	3,493
	230,5	3,746
IV.	a) 43,0	0,282
	b) 163,0	3,200
	206,0	3,482

Darnach sollten auf eine Stunde in III. 0,156 g Stickstoff im Harn treffen, also für die zwei Stunden der ersten Portion 0,312 g, während 0,253 g erschienen; in IV. sollte auf eine Stunde treffen 0,145 g, auf die zwei Stunden der ersten Portion 0,290 g, während 0,282 g entleert wurden. Es ist also auch während der Badezeit nicht mehr Eiweiss in Zerfall gerathen.

Da uns dieses mit Koch's Angaben übereinstimmende Resultat sehr überraschte, stellten wir noch einen zweiten Versuch an. Auf der folgenden zweiten und dritten Tabelle sind die Resultate dieser zweiten fünftägigen Versuchsreihe verzeichnet, bei welcher ausser der Stickstoffabgabe auch die Kohlensäureausscheidung ermittelt wurde.

Am zweiten Hungertage kam das Thier nach Abnahme des Harns um 10 Uhr 30 Min. in die Kammer des Respirationsapparates, in dem es volle 24 Stunden, ohne Harn zu lassen, verblieb. Am dritten Tage wurde der Hund nach Abnahme des Harns des vorhergehenden Tages auf 1 ½ Stunden in das Bad gesetzt, und dann wie schon früher angegeben, aufs neue in den Respirationsapparat gebracht. Hier wurde die Harnblase gleich nach dem Bade katheterisirt, aus Furcht, dass unter dem Einfluss der hohen Temperatur der Harn in die Kammer des Apparates gelassen werden könnte. Der Rest des Harns wurde dann erst nach 22 Stunden abgenommen. Am vierten Tage bekam das Thier wieder ein warmes Bad und wurde dann abermals in den Apparat gebracht. Am fünften Tage wurde um 10 Uhr 30 Min. der Harn abgenommen und der Hund aufs neue, ohne dass er ein Bad genommen hatte, in den Athemapparat gebracht. Hierbei muss die Zeit abgezogen werden, welche für den Umtausch der mit Aetzbaryt gefüllten Röhren nothwendig war; der Umtausch fand selbstverständlich alle 24 Stunden statt.

Tabelle II.

Versuchstage	Gewicht des Hundes in kg	Harnmenge in ccm	Specifisches Gewicht	Stickstoff im Harn in g	Harnstoff aus Stickstoff berechnet	Stickstoff im Koth[1])	Summe des ausgeschied. Stickstoffs	Menge der CO_2 in 24 Stunden	Kohlenstoff im Harn	Kohlenstoff im Koth	Gesammtmenge des ausgeschied. Kohlenstoffs	Bemerkungen
I.	20,60	267,5 (4 Spr.)	1023	4,621	9,890	0,110	4,732	—	—	—	—	
II.	20,30	260,0 (3 Spr.)	1024	3,657	7,825	0,110	3,769	286,78	2,72	1,30	82,23	
III.	19,90	207,0 (2 Spr.)	1024	3,770	8,068	0,110	3,880	281,78	2,81	1,30	80,94	drittes Bad
IV.	19,50	128,0 (2 Spr.)	1034	3,503	7,497	0,110	3,614	268,78	2,61	1,30	77,06	viertes Bad
V.	19,13	121,0 (2 Spr.)	1034	3,239	6,938	0,110	3,350	246,81	2,42	1,30	70,91	

1) Die Menge des trockenen Kothes in den 5 Versuchtagen betrug 15,54 g.

Tabelle III.

Versuchstage	Eiweiss zersetzt in 24 Stunden	Fett zersetzt in 24 Stunden	Eiweiss zersetzt im Tag auf 1 kg	Fett zersetzt im Tag auf 1 kg	Kohlenstoff im zersetzten Eiweiss	Kohlenstoff im zersetzten Fett	Calorien aus dem Eiweiss für 24 Stunden	Calorien aus dem Fett für 24 Stunden	Summe der Calorien	Menge der Wärme im Tag auf 1 kg	Bemerkungen
I.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
II.	23,54	90,22	1,17	4,51	12,88	69,40	96,59	883,87	980,46	48,67	
III.	24,25	87,98	1,23	4,47	13,26	67,68	101,48	854,09	955,58	48.46	drittes Bad
IV.	22,48	84,11	1,16	4,35	12,36	64,70	93,64	814,69	908,33	47,03	viertes Bad
V.	20,99	77,29	1,10	3,15	11,53	59,46	85,86	751,70	837,57	44,05	

Die in der vorstehenden Tabelle enthaltenen Werthe berechneten wir auf die gleiche Weise, wie sie früher bei ähnlichen aus dem Voit'schen Laboratorium hervorgehenden Untersuchungen angewendet worden waren. Darnach treffen im Harn auf 1 Theil Stickstoff 0,746 Theile Kohlenstoff und befinden sich im trockenen Koth 43,44 % Kohlenstoff.

Aus dem im Harn und Koth ausgeschiedenen Stickstoff entnehmen wir die Menge des im Körper zersetzten Eiweisses (mit 16 % Stickstoff). Es wird sodann die im zersetzten Eiweiss enthaltene Kohlenstoffmenge (54,72 %) berechnet und dann letztere von der Gesammtmenge des vom Thier ausgeschiedenen Kohlenstoffs abgezogen, wonach als Rest der im zerstörten Fett befindliche Kohlenstoff übrig bleibt, aus dem man die Grösse der Verbrauchs an Fett (mit 76,9 % Kohlenstoff) entnimmt.

Aus dem zersetzten Eiweiss und Fett kann dann endlich die im Körper entwickelte Menge von Wärme gefunden werden, unter der Annahme, dass auf 1 Theil Stickstoff 25,64 Calorien treffen und 1 Theil Fett 9,686 Calorien gibt[1]).

Bei dem zweiten Versuche tritt die allmähliche Abnahme der Stickstoffausscheidung nicht so regelmässig hervor, insofern am dritten Hungertage, am Tage des ersten Bades, eine geringe Steigerung sich zeigt. Man könnte die letztere als eine Wirkung des warmen Bades betrachten, aber es handelt sich hier nur um eine sehr geringe Steigerung (höchstens 0,190 g Stickstoff), die am folgenden Badetage nicht mehr auftritt; dieselbe rührt höchst wahrscheinlich davon her, dass es nicht immer möglich ist den Harn von 24 Stunden ganz genau zu erhalten. Unsere Zahlen sind so gleichmässig als es nur gewünscht werden kann und übertreffen darin die anderer Hungerreihen, z. B. die von Falck an einem während 60 Tage hungernden Hunde erhaltenen, weitaus. Derselbe gibt an:

Am	5. Tag	9,50	Harnstoff	Am	12. Tag	10,44	Harnstoff
„	6. „	10,89	„	„	13. „	8,88	„
„	7. „	9,87	„	„	14. „	8,95	„
„	8. „	9,10	„	„	15. „	9,76	„
„	11. „	8,24	„	„	16. „	8,89	„

1) Rubner, Zeitschr. f. Biologie 1883 Bd. 19 S. 347 und Danilewsky Centralblatt f. d. med. Wissenschaft 1881 Nr. 26 u. 27.

Um sicher zu sein, habe ich an dem gleichen Hunde noch eine sechstägige Hungerreihe ohne Bad als Controlversuch ausgeführt; wenn also das Bad keinen Einfluss auf die Eiweisszersetzung ausübt, so müssen die Reihen ohne und mit Bad den gleichen allmählichen Abfall in der Stickstoffausscheidung zeigen.

Die folgende Tabelle IV gibt die Resultate dieser Reihe übersichtlich:

Tabelle IV.

Versuchstage	Gewicht des Hundes in kg	Temperatur des Hundes		Harnmenge in ccm	Specifisches Gewicht	Stickstoff im Harn [1])	Harnstoff aus Stickstoff berechnet
		Morgens	Abends				
I.	21,27	38,1	38,4	348 (4 Spr.)	1029	4,813	10,310
II.	20,83	38,1	38,5	243 (4 Spr.)	1022	3,764	8,054
III.	20,54	38,0	38,4	214 (4 Spr.)	1024	3,544	7,584
IV.	20,29	38,1	38,4	212 (4 Spr.)	1024	3,468	7,413
V.	20,01	38,3	39,6	240 (4 Spr.)	1027	3,976	8,508
VI.	19,62	39,7	39,7	235 (5 Spr.)	1026	4,462	9,548
VII.	19,35	38,1	38,5	—	—	—	—

An den ersten vier Hungertagen nahm die Stickstoffmenge allmählich ab, in derselben Weise wie auch an den Hungerreihen mit Bad. Aber am fünften und sechsten Hungertage trat eine Steigerung der Stickstoffmenge ein, zusammenfallend mit einer Erhöhung der Temperatur und Fiebererscheinungen hervorgerufen durch eine Entzündung der Genitalien des Hundes, die geröthet und stark angeschwollen waren und eine schleimig eitrige Absonderung zeigten; am siebenten Tage hörte das Fieber und die Entzündung wieder auf.

Ebensowenig wie der Umsatz von Eiweiss zeigt sich nach obigen Tabellen der von stickstofffreien Substanzen, von Fett, nach einem 1 ½ stündigen warmen Bade erhöht.

Ich bin nicht im Stande zu finden, warum die meisten früheren Beobachter, namentlich Schleich, in Beziehung der Stickstoffausscheidung ein anderes Resultat erhalten haben. Ich gestehe, dass die von ihnen beobachtete Steigerung des Eiweisszerfalles nicht nur am Badetage, sondern auch in den nachfolgenden Tagen durch Ein-

1) Die Menge des trockenen Kothes in den 6 Hungertagen betrug 9,345 g mit 0,358 g Stickstoff.

wirkung der höheren Temperatur auf die Zellen des Organismus höchst plausibel erschien. Es waren bei Schleich's Versuchen die Bäder weder heisser noch länger dauernd wie bei den unserigen und die Körpertemperatur seiner Versuchsobjecte (Mensch) ging nicht über die unseres Hundes hinaus. Die beiden im Tage genommenen Bäder des Menschen währten höchstens 1 ½ Stunden, ebensolange das eine Bad unseres Hundes; das Maximum der Körpertemperatur betrug beim Menschen 39,9°, beim Hunde 40,8°.

Die von mir in Beziehung des Eiweisszerfalles erhaltenen Ergebnisse stehen denen von Koch nahe; ich war nicht im Stande eine Aenderung desselben zu constatiren. Ich konnte aber auch keinen nachträglichen Einfluss des Bades auf die Zersetzung des Fettes auffinden, denn es nahm wie normal der Fettverbrauch gleichmässig von Tag zu Tag ab und zeigte sich die Menge der von 1 Kilo Thier erzeugten Wärme fast vollständig gleich.

Koch hat beim Kaninchen in dieser Hinsicht ein anderes Resultat erhalten, da er die Kohlensäureausscheidung während des Bades und nicht nach demselben wie ich bestimmte, wodurch er, wie ich früher schon hervorgehoben habe, nach vielen früheren Erfahrungen eine Steigerung dieser Ausscheidung erhalten musste.

Es ist bekannt, dass in der Kälte, wenn diese keine Abnahme der Körpertemperatur hervorbringt, mehr Fett im Körper zersetzt wird, als bei mittlerer Temperatur der Umgebung, dass jedoch in wärmerer Luft, falls diese keine Erhöhung der Eigenwärme des Thierkörpers bedingt, zumeist eine Verminderung des Fettverbrauchs sich ergibt. Bei Abnahme der Körpertemperatur in Folge der Kälte zeigt sich eine geringere Stoffzersetzung, eine grössere aber bei Erhöhung der Eigenwärme.

Man hätte daher dem entsprechend voraussetzen sollen, dass bei unserem Hunde auch nach dem Bade eine reichlichere Kohlensäureausscheidung sich ergäbe, da er noch eine Zeit lang, sicherlich während einer Stunde, eine höhere Temperatur als normal besass. Es ist möglich, dass dies auch thatsächlich der Fall war, jedoch später nach Erlangen der normalen Temperatur ein Ausgleich und ein entsprechendes Sinken der Kohlensäuremenge stattfand.

Wenden wir schliesslich diese Erkenntnisse auf die Vorgänge bei dem fieberhaften Process an. Es liegen Gründe zu der Annahme vor, dass nicht jede Temperaturerhöhung, welche als pathognomonisches Zeichen eines Fieberprocesses angesehen wird, in dem aufgestellten Rahmen des Fiebers überhaupt untergebracht werden kann; es müssten denn die jetzigen Begriffe davon bedeutend erweitert werden und auch Processe, welche man bisher nicht zu den fieberhaften rechnete, darin untergebracht werden — da sie nicht von der für das Fieber charakteristischen Temperaturerhöhung (wenigstens nicht einer bedeutenden) begleitet zu sein brauchen. Andererseits sollten viele Processe, welche bis jetzt mit dem Fieber in einer Reihe rangirten, von demselben abgetrennt werden.

Jeder Kliniker, welcher die sog. infectiösen Fieberformen studirt, kann beständig ihren verderblichen Einfluss auf den thierischen Organismus wahrnehmen, welcher sich in einer Schwächung des letzteren und in einem gesteigerten Verbrauch sowohl der stickstoffhaltigen wie der nichtstickstoffhaltigen Körperbestandtheile manifestirt. Ist nun letzteres immer eine Folge der hohen Temperatur? Es liesse sich hierauf eher mit „nein“ antworten, weil nicht selten eine vermehrte Absonderung der Stoffwechselproducte schon in der ersten Periode der infectiösen Erkrankung, in der sog. Periode des latenten Fiebers, beobachtet wird, wo die Erkrankung noch nicht mit einer für fieberhafte Krankheiten nothwendigen hohen Temperatur Hand in Hand geht. Dafür dass die hohe Temperatur an sich nicht die Steigerung des Umsatzes bedingt, spricht auch die interessante Beobachtung von Bauer und Künstle [1]), nach welcher beim Fieber durch antipyretische Mittel wie Chinin und Salicylsäure oder kalte Bäder wohl die Temperatur des Körpers, aber nicht die Eiweisszersetzung vermindert wird.

Andererseits haben wir eine ganze Reihe mit hohen Temperaturen verlaufender fieberhafter Processe, bei welchen in der grössten Mehrzahl der Fälle kein erhöhter Verbrauch an Körpersubstanzen eintritt, folglich auch keine vermehrte Ausscheidung an Stoffwechselproducten. Hier offenbart sich deshalb auch kein sonderlicher Einfluss der Erkrankung auf den Organismus. Im Gegentheil, es

1) Bauer und Künstle, Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 24 S. 57.

finden sogar Ersparnisse statt, so dass dabei eine Ablagerung von Fett und eine Gewichtszunahme des Körpers vorkommen. Wir haben hier besonders die fieberhaften Neurosen im Auge, welche häufig unter sehr hohen Temperaturen verlaufen. Für die Erklärung solcher Formen nimmt man am besten Störungen in den wärmeregulirenden Apparaten des Körpers an, wodurch in einem Körper, bei welchem die Wärmeproduction vollkommen normal von statten geht, die Abfuhr derselben gestört werden kann.

Zu einer solchen Gattung von Temperaturerhöhung und folglich auch von Fieber müssen verschiedenartige Formen gezählt werden, welche dem Kliniker häufig begegnen. So kommen z. B. bei nervösen Menschen mit erregbaren vasomotorischen Nerven ausserordentlich hohe Temperaturen durch psychische Veranlassungen vor und sehr häufig, ohne dass man dabei eine vermehrte Harnstoffausscheidung findet. Bei vielen chlorotischen Mädchen, welche nicht selten ein bedeutendes subcutanes Fettpolster aufweisen, was sogar für die genannte Krankheit charakteristisch geworden — begegnen wir Temperaturen von 38 bis 39° C., wobei häufig gar nicht geklagt wird und diese Temperaturen oft unbemerkt wieder abfallen. Der Gedanke liegt daher nahe, dass die in den angeführten Fällen beobachteten Temperaturerhöhungen mit den wärmeregulirenden Apparaten im Körper in Verbindung stehen und namentlich mit einer anormalen Function des vasomotorischen Nervensystems der Haut. Wir haben persönlich nicht selten ähnliche Formen beobachtet, ohne dass dabei gleichzeitig eine Erhöhung in der täglichen Harnstoffausscheidung aufgetreten wäre, obgleich die hohen Temperaturen sich nicht selten über Wochen erstreckten. In ähnlicher Weise kann Temperaturerhöhung durch reflectorische Wirkung auf die wärmeregulirenden Apparate auftreten, so z. B. beim Durchgang eines Gallensteines durch den Ductus choledochus[1]) bei Leberkoliken, bei Nieren- und Darmkoliken, in Folge der Einführung eines Katheter bei empfindlichen Individuen u. dgl. mehr.

Solche „nervöse Fieber“ sind bei vielen Erkrankungen des Centralnervensystems beobachtet worden, so z. B. bei Hysteroepilepsie,

1) N. Simanowsky, Zeitschrift f. klinische Medicin Bd. 5 Heft 4.

bei den sog. attaques epileptiformes der progressiven Paralyse und der dissiminirten Sclerose.[1])

Botkin[2]) meint, dass die verschiedenen Formen der auf reflectorischem Wege entstandenen Temperaturerhöhungen (Kathetereinführung, Leber- und Nierenkolik u. s. w.), ebenso wie die Temperaturerhöhungen in Folge psychischer Ursachen von einer Reizung der der Wärmeregulation vorstehenden Centren durch das Grosshirn abhängig sein könnten.

Uns scheint, dass wir in den Versuchen, die Körpertemperatur künstlich zu erhöhen und in den darin stattfindenden Vorgängen der Stoffzersetzung, ein Mittel besitzen, um alle die Bedingungen, unter welchen die zuletzt aufgeführten klinischen Formen des Fieberprocesses verlaufen, künstlich hervorzurufen.

Und in der That, wenn wir ein Thier in warme Luft bringen, welche noch dazu mit Wasserdampf gesättigt ist, oder einfach in derart erwärmtes Wasser, dass der Körper an der Abgabe der producirten Wärme verhindert wird, so wird die Wärme im Organismus aufgestaut und die Körpertemperatur beträchtlich erhöht. Da wir nun unter dieser künstlich hergestellten Temperaturerhöhung keine Aenderung der normalen Stoffzersetzung nachweisen können, so wird es wahrscheinlich, dass die genannten Fieberformen, bei welchen neben der Temperaturerhöhung kein grösserer Stoffverbrauch stattfindet, eben nur durch eine Störung der Wärmeabgabe hervorgerufen sind. Ausserdem aber unterstützen solche Versuche aufs eindringlichste den Standpunkt, dass bei den sog. fieberhaften Infectionskrankheiten, welche zwar mit hohen Temperaturen Hand in Hand gehen, bei denen aber ein besonderes Gewicht gerade auf die Infection selbst gelegt werden muss, letztere es ist, welche einen so verderblichen Einfluss auf den Organismus äussert, oder wenigstens sich hauptsächlich dabei betheiligt. Sie bedingt auch den erhöhten Verbrauch des Organismus an stickstoffhaltigen und nichtstickstoffhaltigen Körpersubstanzen, nicht aber die hohe Temperatur.

Aus unseren Versuchen und Beobachtungen ziehen wir folgende Schlüsse:

---

1) Charcot, Leçons sur les maladies du systeme nerveux t. I p. 376.

2) Botkin, Klinik der inneren Krankheiten. 2. Liefg. S. 26.

1. In Folge der künstlich durch mehrere Stunden hindurch vermittelst heisser Wasserbäder erhöhten Temperatur eines Thieres vermehrt sich die Menge der stickstofffreien Producte des Stoffwechsels nicht.
2. Die Menge der im Tage ausgeschiedenen stickstoffhaltigen Producte bleibt entweder normal oder vermehrt sich nur in ganz geringem Maasse.

Diese Schlussfolgerungen wollen wir natürlich nur für die Bedingungen gezogen wissen, unter denen unsere Versuche stattfanden. Höchst interessant wäre es jedenfalls, noch weitere Versuche anzustellen, bei welchen die Temperaturerhöhung des Körpers längere Zeit anhält. Einer solchen länger andauernden Einwirkung gegenüber würden sich vielleicht die Zellen und Gewebe anders verhalten und Abweichungen von den normalen Vorgängen der Stoffmetamorphose stattfinden.

Zum Schlusse erfülle ich noch die Pflicht, Herrn Privatdocenten Dr. Rubner, Assistenten am physiologischen Institute, meinen Dank für die Anleitung und Hilfe, namentlich bei den Respirationsversuchen auszusprechen.

Ueber Besonderheiten des chemischen Baues contractiler Gewebe.[1]

Von

C. Fr. W. Krukenberg und **Dr. Henry Wagner.**

(Aus dem chemisch-physiologischen Laboratorium der Universität Würzburg.)

(Mit Tafel I.)

Die Abwesenheit des Kreatins in den contractilen Geweben wirbelloser Thiere, das Fehlen des Inosits in den Muskeln bei Batrachiern und Fischen, der nicht durch Glykogen oder andere besser gekannte Stoffe bedingte eigenartige Geschmack mancher Fleischarten (z. B. von Hummer und Flusskrebs) machten es uns wahrscheinlich, dass dem Carnin verwandte Substanzen in vielen contractilen Geweben existiren, und dass auf deren Gegenwart ein grosser Theil ihres eigenartigen Geschmackes zu beziehen ist. Es erschien uns deshalb nothwendig, Weidel's Untersuchungen über das Carnin einer Nachprüfung und Vervollständigung zu unterwerfen, und wir haben deren Resultate bereits schon früher[2]) mitgetheilt; nur Weniges sei denselben noch hier hinzugefügt.

---

1) Dieser Aufsatz bildet eine Ergänzung zu Krukenberg's früheren Arbeiten über die contractilen Gewebe (Unters. a. d. physiolog. Inst. d. Universität Heidelberg 1880 Bd. 3 S. 197—220 und 1881 Bd. 4 S. 33—63; Vergl.-physiologische Studien I. Reihe 4. Abthl. Heidelberg 1881 S. 44—64; II. Reihe 1. Abthl. 1882 S. 143—147 und 2. Abthl. S. 81—86), in welchen auch die einschlägige Literatur nachzusehen sein wird.

2) Krukenberg und Wagner, Zur Kenntniss des Carnins. Sitzungsberichte der Würzburger physik.-med. Gesellschaft 1883 S. 58—63.

Obschon die Fähigkeit des Carnins Salze zu bilden ebenso wie die Beständigkeit der reinen Substanz bei stundenlangem Kochen mit concentrirtem Barytwasser hinreichende Sicherheit bot, dass das Carnin nicht etwa nur die essigsaure Verbindung des Hypoxanthins ist, so glaubten wir doch, das Verhalten des Hypoxanthins gegen Essigsäure prüfen zu sollen, zumal wir, abweichend von den Angaben Weidel's, bei Verarbeitung der einzelnen Fleischextractportionen regelmässig und meist sogar sehr reichlich Hypoxanthin erhielten. Wir schieden dasselbe aus dem nach der Baryt- und Bleiessigfällung durch Schwefelwasserstoff entbleiten Fleischextractrückstande durch Kochen mit Kupferacetat ab, verwandelten es in die salpetersaure Silberverbindung, darauf in das salpetersaure Salz und alkalisirten die Lösung desselben zur Reingewinnung des Hypo-

Was den Einwand G. Salomon's (Virchow's Archiv Bd. 95, 1884, S. 527—534) — dem entsprechend, wie er wisse, Hypoxanthin und Guanin durch Bleiessig nur auf Zusatz von Ammoniak ausfallen — gegen unsere Angaben, dass Guanin durch neutrales wie basisches Bleiacetat gefällt werde, anbelangt, so müssen wir bemerken, dass reine salpetersaure Guaninlösungen durch neutrales wie basisches Bleiacetat nach einiger Zeit direct, wenn auch nur theilweise gefällt werden, dass sich die so entstandenen und abfiltrirten Niederschläge mit Wasser anhaltend und vollständig auswaschen lassen und sich alsdann beim Erwärmen mit Salpetersäure und Natronlauge immer noch als stark guaninhaltig erweisen. Jede in einer Guaninlösung (z. B. schon bei einem unbedeutenden Kohlensäuregehalt derselben) entstehende Bleifällung reisst Guanin mit nieder und ähnlich wird es sich auch mit dem Hypoxanthin verhalten.

Auf eine zweite, widersprechende Bemerkung Salomon's sei geantwortet, dass das Eintreten der Weidel'schen Reaction bei den Xanthinkörpern eine weitere Untersuchung und Detaillirung erfordert. Seitdem wir fanden, dass Coffeïn wie Theobromin diese Reaction ebenfalls geben, dieselbe aber aus uns unbekannt gebliebenen Gründen auch bei diesen Substanzen (an ein und demselben Präparate und mit frisch bereitetem Chlorwasser angestellt!) bald sehr prägnant, bald nur unvollkommen auftritt oder selbst ganz ausbleibt, zweifeln wir nicht mehr, dass das Xanthin dieselbe unter Umständen gleichfalls zeigt, für dieses aber weder als charakterische noch als scharfe Reaction zu bezeichnen ist. Ueber das Verhalten des Xanthins bei der Probe besitzen wir keine eigenen Erfahrungen; Coffeïn und Theobromin verhalten sich dabei nicht ganz gleich, und voraussichtlich wird von diesen beiden Körpern auch das Xanthin in ein oder dem andern Punkte abweichen. Coffeïn wie Theobromin hinterlassen beim Abdampfen mit conc. Salpetersäure gelbe Rückstände, welche nicht nach Art der Murexid- oder Guaninprobe auf Natron oder Ammoniak reagiren. Dampft man Coffeïn mit Chlorwasser und einem Tropfen Salpetersäure auf dem Wasserbade vorsichtig ein, so hinterbleibt ein intensiv purpurrother Rückstand, der durch Natronlauge

xanthins schwach durch Ammoniak. Wir wollen bemerken, dass das Verhalten des so gewonnenen reinen Hypoxanthins höheren Temperaturen gegenüber von Strecker[1]) zwar richtig aber unklar beschrieben und deshalb in den Lehrbüchern auch häufig falsch wiedergegeben ist. Strecker sagt: „Beim Erwärmen bis 150° und darüber bleibt es unverändert, beim stärkeren Erhitzen entwickelt es Blausäure ohne zu schmelzen und gibt ein weisses, schwerflüchtiges Sublimat, während ein verkohlter Rückstand bleibt." Hieraus entstand nun z. B. bei Gorup-Besanez[2]): „Das Sarkin kann bis auf 150° C. erhitzt werden, ohne sich zu zersetzen. Ueber diese Temperatur erhitzt zersetzt es sich." Wir finden jedoch, dass reines Hypoxanthin, aus dem salpetersauren Salze durch schwaches Alkalisiren mit Ammoniak bereitet, sich bei 260° C. noch nicht verändert, und dass der von Strecker beschriebene Zersetzungsvorgang deshalb nothwendig bei einer höheren Temperatur als 260° C. beobachtet sein muss.

---

sofort entfärbt, durch Ammoniakdämpfe violett, dann ziegelroth und schliesslich ebenfalls zerstört wird. Theobromin verhält sich beim Abdampfen mit Chlorwasser und Salpetersäure wie Coffeïn; der purpurfarbige Rückstand färbt sich aber in diesem Falle mit Natronlauge vorübergehend schön blau, während derselbe nach Ammoniakzusatz seine Purpurfarbe bewahrt. Bei Anwendung von Chlorwasser allein (bei Ausschluss von Salpetersäure) fällt die Färbung des Rückstandes beim Coffeïn mehr chamois aus, wird beim nachherigen Betupfen mit Salpetersäure nicht verändert, durch Natronlauge wie Salmiakgeist aber vorübergehend purpurviolett. Theobromin färbt sich bei ausschliesslicher Anwendung von Chlorwasser gleich dem Coffeïn, wird darauf durch Ammoniak aber reiner purpurn, durch Natronlauge vorübergehend violett und bald gebleicht. Die wässrigen, meist schon innerhalb weniger Minuten unansehnlich werdenden Lösungen der bei diesen Reactionen aus dem Coffeïn entstandenen farbigen Producte (vgl. Spectr. 4 und 5 auf S. 38) weichen von den bei der Murexidprobe erhaltenen (vgl. Krukenberg, Zur Charakteristik einiger physiologisch und klinisch wichtigeren Farbenreactionen. Verhandl. d. physik.-med. Gesellsch. zu Würzburg N. F. Bd. 18, Nr. 9 Taf. VI, Spectr. 23 u. 24) spectroskopisch ab, während die wässrige Lösung des bei Anstellung der Weidel'schen Reaction aus dem Theobromin hervorgegangenen Farbstoffes (s. Spectr. 6 auf S. 38) von einer ammoniakalischen Murexidlösung spectroskopisch kaum zu unterscheiden sein wird.

1) Strecker, Ueber eine neue Base aus der Fleischflüssigkeit. Annalen der Chemie und Pharmacie 1857 Bd. 102 S. 204.

2) Gorup-Besanez, Lehrbuch der physiologischen Chemie. S. 229 2. Aufl. Braunschweig 1867.

Mit Essigsäure verbindet sich reines Hypoxanthin nicht, wenigstens ist die Verbindung so unbeständig, dass vorsichtiges Eindampfen der Lösung auf dem Wasserbade oder Verdunsten im Schwefelsäureexsiccator dieselbe schon dissociirt. Kalte Essigsäure löst überhaupt nur minimale Spuren von Hypoxanthin, heisse löst ungleich mehr davon. Sowohl bei langsamer wie auch rascher Krystallisation, die in den essigsauren Lösungen stets von den Flüssigkeitsrändern aus erfolgte, entstand ein Product, in welchem weder durch Eisenchlorid noch durch die Kakodylprobe Essigsäure nachzuweisen war, und welches in seinem mikrokrystallinischen Gefüge, in seinem Zersetzungspunkte mit unverändertem reinen Hypoxanthin ebenfalls übereinstimmte und demnach auch nichts anderes als dieses gewesen sein kann.

Es muss, wie wir schon früher andeuteten, an der Beschaffenheit unserer Fleischextractportionen gelegen haben, dass wir nur wenig Carnin, dafür aber viel Hypoxanthin erhielten. Bei Fällung der Phosphate mit Barytwasser beobachteten wir stets eine mehr oder weniger energische Ammoniakentwicklung und sahen dieser proportional die Ausbeute an Carnin sinken, die an Hypoxanthin dagegen steigen, so dass wir kaum fehl gehen dürften, wenn wir in diesen Fällen eine Spaltung des Carnins in Hypoxanthin (wahrscheinlich mitbewirkt durch Substanzen, die sich erst bei längerer Aufbewahrung des Fleischextractes bilden) dem Barytwasser zuschreiben.

Für Carnin besonders charakteristisch ist die gelbe Färbung, seine Ueberführung durch Salpetersäure wie Brom in die entsprechenden Salze des Hypoxanthins sowie die langen, rosettenförmig gruppirten Krystallnadeln seiner salzsauren (Taf. I Fig. 1) und die zuerst von uns erhaltenen anisotropen Oktaederformen seiner salzsauren Platinchlorid-Verbindung. Im Fleische von Fröschen wie einiger Süsswasserfische konnten wir so das Carnin weiterhin nachweisen, während wir bei Untersuchung von Alligatoren- und Hummermuskeln nach der Barytfällung in dem Antheile des Bleiessigniederschlages, der bei Behandlung mit siedendem Wasser in Lösung geht, andere gut krystallisirte Körper antrafen. Auch im Frosch- wie im Fischfleische begleiten Substanzen dieser Art das Carnin.

Es liegt in der Natur der Sache begründet, dass unsere Kenntnisse von den verhältnissmässig so leicht zersetzbaren, nur spurenweise in dem Fleische von Thieren, welches überdies schwierig und nur unter grossem Kostenaufwande in reichlicherer Quantität zu beschaffen ist, auftretenden carninähnlichen Stoffen sehr unvollkommen bleiben müssen. Wir haben geglaubt, vor allem Gewicht auf die Reinigung dieser Substanzen zu legen, wodurch die Zahl der an den schliesslich zurückbleibenden Substanzmengen ausführbaren Versuche allerdings eine sehr beschränkte wurde. Unsere Resultate dürften aber wie nur wenige andere geeignet sein, zu zeigen, dass die meisten, aus todten Organen abgeschiedenen Körper, welche eine speciell chemische Feststellung ihrer Eigenschaften und ihrer Constitution zuliessen, als weitabliegende, extravitale Zersetzungsproducte der lebensthätigen Gewebsbestandtheile, physiologisch streng genommen, ziemlich gegenstandslos sind, und dass hier wie überall in der Physiologie es weniger darauf ankommen sollte, gleichgültig auf welchen, gewöhnlich den Lebensvorgängen ganz entgegengesetzten Wegen ein krystallisirtes Product von constanter chemischer Zusammensetzung zu erzielen, als vielmehr darauf, die Processe, welche als wirklich vitale anzusehen sind, wenn auch in noch so unvollkommenem Maasse verstehen zu lernen.

Der Körper, welcher bei Verarbeitung von 1130 g Froschmuskeln von uns neben Carnin, in einzelnen Fleischportionen auch sichtlich frei von Carnin gewonnen wurde, und dessen Eigenschaften deshalb festzustellen waren, bildet spitze, viereckige, rhombische Tafeln, welche nach rascher Krystallisation morgensternartig zusammenhängen oder in strahlig struirten Drusen und dendritisch verzweigten Gebilden als Rhombenformen nicht mehr zu erkennen sind (Taf. I Fig. 2). Der Zersetzungspunkt dieser Substanz liegt weit niedriger als beim Carnin, mit welchem dieselbe sowohl die specifisch tombackbraune Farbe wie auch die Löslichkeitsverhältnisse theilt. Die lufttrockenen Krystalle der reinen Substanz verkohlen unter geringer Sublimation vollständig schon bei 140° C. Wohlausgebildete Krystalle der salzsauren Verbindung erscheinen von der Fläche betrachtet als breite Spindeln (ähnlich denen auf Taf. I in Fig. 3 dargestellten), welche, seitlich gesehen, sich als schmale Leisten präsentiren. Das gelbe

Platinchlorid-Doppelsalz krystallisirt in rhombischen, durcheinander gelagerten Tafeln, während das durch Salpetersäureeinwirkung erhaltene Product durch seine wasserklaren, scharf begrenzten, oben abgestumpften Säulen sehr an Taurin erinnert. Da nun fernerhin die in diesen Krystallen anschiessende Verbindung auch beim Eindampfen mit concentrirter Salpetersäure keine Veränderung erleidet, reichliche Taurinmengen von Krukenberg[1]) aus Froschfleisch erhalten sind, Taurin aber weder durch neutrales, noch durch basisches Bleiacetat aus seinen Lösungen gefällt wird, der carninähnliche Körper aus dem Froschfleisch bei mehrmaligem Umkrystallisiren aus wässriger Lösung seine Fällbarkeit durch Bleiessig nachweislich einbüsst, sein Zersetzungspunkt sich alsdann über 240 ° C. verschiebt und dem des Taurins demnach entspricht, so liegt gewiss nichts näher als anzunehmen, dass der in kochendem Wasser lösliche Antheil des Bleiessigniederschlages neben Carnin einen Körper enthält, der nicht wie das Carnin leicht in Hypoxanthin, sondern in Taurin übergeht, dass das aus Froschmuskeln wie vielleicht auch das aus den meisten anderen Fleischarten dargestellte Taurin nicht als solches in den Muskeln vorkommt, sondern, analog dem Hypoxanthin nach Weidel's Ansicht[2]), aus einer durch Bleiessig fällbaren, complicirteren Verbindung erst künstlich abgespalten ist.

Die carninähnliche Substanz aus den Muskeln von *Alligator lucius* bildet knollenförmig an einander haftende kurze Nadeln; ihr Zersetzungspunkt liess sich nicht bestimmen, da derselbe über 290 ° C. liegt. Mit Salzsäure zur Trockne verdunstet, resultirten spitze rhombische Tafeln (Tafel I Fig. 5), welche mit den aus Froschfleisch in nämlicher Weise, aus Fischfleisch direct (ohne Salzsäurezusatz) erhaltenen übereinzustimmen scheinen, doch in gleicher regelmässiger Ausbildung nur selten und vereinzelt aus Fischfleisch gewonnen wurden. Das salzsaure Platinchlorid-Doppelsalz wie das Salpetersäureproduct (Tafel I Fig. 4) ähneln in Form und Verhalten den entsprechenden Salzen aus dem Froschfleische.

---

1) Krukenberg, Unters. der Fleischextracte verschiedener Fische und Wirbellosen. Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg Bd. 4 S. 63.

2) H. Weidel, Ueber eine neue Basis aus dem Fleischextract. Annalen d. Chemie und Pharmacie. 1871 Bd. 158 S. 366 u. 367.

Der Fleischauszug einiger Süsswasserfische (*Barbus fluviatilis*, *Abramis brama*, *Leuciscus dobula*) lieferte uns einen basisch essigsauren Bleiniederschlag, der in kochendem Wasser gelöst, filtrirt und durch Schwefelwasserstoff entbleit, Krystalle ausschied (Taf. I Fig. 3), deren Zersetzungspunkt über 230° C. lag, und welche in Gestalt dem Salzsäureproducte der carninähnlichen Substanz aus Frosch- und Alligatorfleisch ausserordentlich verwandt, wenn nicht damit identisch waren. Auf der Schmalseite stehend, zeigen die Krystalle häufig Einkerbungen (Fig. 3a), durch welche sich dieselben als Zwillingsformen documentiren. Es lässt sich die Möglichkeit nicht in Abrede stellen, dass hier durch zu starke Einwirkung irgend eines Agens direct derselbe Körper erhalten wurde, der aus der carninähnlichen Substanz bei Frosch und Alligator erst durch Salzsäureeinwirkung entstand, dass derselbe somit auch keine salzsaure Verbindung, sondern ein Spaltungsproduct darstellt, wie wir anzunehmen geneigt sind, ein intermediäres Glied des carninähnlichen Körpers und Taurins. Die Platinverbindung stellt goldgelbe, büschelförmig gruppirte rhombische Tafeln dar, die zum Theil den Eindruck einer Combination von Würfel uud Oktaeder hervorrufen. Durch Salzsäureeinwirkung wurden vierseitige, kurz- wie langstengelige Prismen erhalten, welche ebenso wie die durch Salpetersäure erzeugten prismatischen Krystalle, von rhombischem Querschnitt und stellenweise zu unregelmässigen Rosettenformen vereinigt, wohl nichts anderes als Taurin waren; ganz besonders das Salpetersäureproduct glich formell wie optisch in jeder Beziehung den bei langsamer Krystallisation aus den zersetzten Taurocholaten der Rindsgalle entstehenden Taurinkrystallen.

Bei dem Auszuge der Hummermuskeln schieden sich aus der heiss filtrirten wässrigen Auskochung des basisch essigsauren Bleiniederschlages nach Entfernung des Bleies durch Schwefelwasserstoff und stattgehabter Concentration des Filtrates haarfeine, doppelbrechende Krystalle aus, die, ähnlich dem Tyrosin, sich zu Büscheln und Garben (Taf. I Fig. 6a) zusammenlegten, auch Doppelkämme bildeten, indem das Mittelstück der Garbenformen sich stark verbreiterte. Wurden diese Krystallnadeln auf einen Objectträger unter das Mikroskop gebracht, so bot sich, sobald der letzte Tropfen der

Mutterlauge verdunstet war, dem Beobachter ein überraschendes Schauspiel dar. In gleicher Weise wie bei den Explosionen der mit Wasser in Berührung kommenden Samenpatronen der Cephalopoden, fuhren infolge des eingetretenen Wasserverlustes die einzelnen Nadeln nach allen Richtungen blitzartig auseinander, und an den Stellen, wo äussere Widerstände ein Auseinandergehen der einzelnen Bruchstücke verhindert hatten, constatirte man leicht, dass die einzelnen Nadeln der Quere nach in sechseckige Krystallplättchen zerfallen waren, welche hie und da geldrollenartig geschichtet noch die ursprüngliche Nadelform errathen liessen. Bedeckt man die feucht aus der Mutterlauge genommenen, unzersetzten Krystallnadeln auf dem Objectträger mit einem Deckgläschen, so bleibt die moleculare Umlagerung zwar immer eine momentan sich vollziehende, schreitet aber, mit der Wasserverdunstung gleichen Schritt haltend, von dem einen zum andern Ende der Nadel ganz allmählich vor und lässt sich an ein und demselben Präparate mehrere Minuten lang immer von Neuem beobachten. Auf Taf. I Fig. 6b ist versucht, die Contouren der bei diesem Zersetzungsvorgange entstehenden Krystalltäfelchen genau zu fixiren und ein Bild davon zu geben, wie der Process von Statten geht. Ganz zweifellos wird diese moleculare Umlagerung durch einen Verlust der Substanz an Wasser bedingt und der Krystallform des neu entstehenden Körpers entsprechend wächst die Breitendimension der Nadel, während sich demgemäss ihr Längendurchmesser verkürzt, was nothwendig zu einem Zerreissen führen muss und speciell hier sich in einem plötzlichen, explosionsartigen Zerfalle manifestirt.

Der Zersetzungspunkt liess sich selbstverständlich nur von dem secundären Producte, den sechsseitigen Krystalltäfelchen, zu bestimmen versuchen; derselbe liegt bei diesen sehr hoch und war deshalb auch nicht genau festzustellen. Bei 245—250° C. trat eine schwache Bräunung ein, welche sich bei fortgesetztem Erwärmen bis 270° C. verstärkte, ohne dass aber selbst bei dieser Temperatur eine vollständige Verkohlung erfolgte. Im Wasser lösten sich die Plättchen leicht, im warmen allerdings besser als im kalten.

Von den Salzen ist besonders die Platinchloridverbindung wegen der Art ihrer Ausscheidung bemerkenswerth. Auf Zusatz von Platin-

chlorid zu der wässrigen Auflösung des carninähnlichen Körpers scheiden sich zuerst hell und klar umrandete, gelbe Kugeln aus, welche mehr oder weniger dunkel bestäubt erscheinen. Sehr häufig sind zwei derselben durch eine wasserhelle, nur bei auffallendem Lichte als gelb gefärbt zu erkennende Zwischenmasse verbunden, so dass ein derartiger Complex den Eindruck eines *Pinus*pollens macht (Taf. I Fig. 6 c). Aus diesen Knollen hervorgehend, entstehen nach und nach grössere Krystalloktaeder, oft mit deutlicher Schichtung und alsdann Kochsalzwürfeln ähnlich an Structur. Durch Salzsäure liess sich nur ein, in baumförmig verzweigten Nadeln anschiessendes Product gewinnen, welches sich leicht in kaltem Wasser löste. Salpetersäure lieferte bis 2^{cm} lange, undeutlich ausgeprägte prismatische Krystalle.

Wir haben davon Abstand genommen, das Verhalten der im Vorhergehenden besprochenen carninähnlichen Stoffe aus Frosch-, Alligator-, Fisch- und Hummerfleisch gegen Fällungsmittel ausführlicher zu erörtern; wir glauben, dass nebenstehende tabellarische Uebersicht dasselbe mit hinlänglicher Klarheit zur Anschauung bringt.

Bei Darstellung des Carnins aus Liebig'schem Fleischextract stiessen wir weiterhin auf zwei gut charakterisirte Körper, deren zuvor in der Literatur nicht gedacht worden ist. Der von kochendem Wasser nicht gelöst werdende Antheil des basisch essigsauren Bleiniederschlages wurde zur Inositgewinnung fein vertheilt in Wasser von 50° C. suspendirt und durch Schwefelwasserstoff zersetzt. Die vom Schwefelblei durch Filtration befreite Flüssigkeit wurde auf dem Wasserbade eingeengt, als völlig frei von Bleiverbindungen erkannt und mit etwa der dreifachen Alkoholmenge versetzt. Sogleich entstanden wolkige Trübungen, welche sich als feiner Schlamm zu Boden senkten, abfiltrirt wurden und, wie der negative Ausfall der Scherer'schen Probe zeigte, nachweisbare Mengen von Inosit nicht enthielten. Der auf dem Filter gesammelte Bodensatz wurde mit ca. 60proc. Weingeist ausgewaschen, dann in Wasser gelöst und mit Salzsäure stark sauer gemacht. Dabei schieden sich perlmutterglänzende Krystalltafeln eines organischen Körpers aus, deren Contouren wir Taf. I Fig. 7 wiederzugeben versucht haben. Genauere Angaben über das Verhalten dieser Krystallplättchen können

Reactionstabelle der bei der Bleiacetatfällung sich dem Carnin ähnlich verhaltenden Substanzen.

	Zersetzungspunkt	Krystallform der reinen Substanz	Salpetersaures Silber in der Kälte	Neutrales essigsaures Blei	Basisch essigsaures Blei in der Kälte	Essigsaures Kupfer beim Kochen	Quecksilberchlorid	Salpetersaures Quecksilber	Pikrinsäure	Starke Natron- oder Kalilauge
Weidel's Carnin aus Liebig'schem Fleischextr.	230—239° C.	Knollen von krystallinischem Gefüge	weisser voluminös. Niederschlag	0	weisse Fällung	blaugrüner Niederschlag	weisse Niederschläge		0	in Lösung gehend
Körper aus den Alligatormuskeln	über 290° C. liegend	knollenförm. aggregirte kurze Nadeln	weisse flockige Niederschläge		weisser flockiger Niederschlag	dunkelgraue Fällung	weisse Fällungen		0	in Lösung gehend
Körper aus den Hummermuskeln	zersetzt sich bei 245° C., doch noch nicht bei 270° vollständig verkohlend	sechseckige Krystallplättchen	weisse amorphe Fällung			grünl. weisse Fällung beim Kochen ins Braune übergehend	amorphe weisse Fällungen			
Körper aus den Froschmuskeln	zersetzt sich bei 140° C. mit geringer Sublimation	spitze rhombische Tafeln	weisse amorphe Fällung			amorphe schmutzig grüne Fällung	amorphe weisse Fällungen			

wir erst in einer spätern Mittheilung folgen lassen. Die von der auf Alkoholzusatz sofort entstehenden Fällung durch Filtration befreite Flüssigkeit schied nach längerem Stehen reichlich Inosit aus; mehrere Portionen nahmen dabei aber an den Flüssigkeitsrändern einen intensiv rothen Farbenton an, verursacht durch ein Pigment, welches in Alkohol, Aether, Schwefelkohlenstoff u. dgl. m. unlöslich war, von kaltem Wasser nur spurenweise aufgenommen, von kochendem dagegen leicht in Lösung gebracht wurde. Die wässrigen Lösungen besassen eine goldgelbe Farbe, erhielten sich zwar beim Abkühlen der Flüssigkeit, waren aber doch äusserst unbeständig, so dass es nur mit grosser Mühe gelang, das spectroskopische Verhalten[1]) derselben festzustellen. Das Spectrum frischen Fleischextractes zeigt den, diesem Farbstoffe eigenthümlichen und dem Bande des Hydrobilirubins (in salzsäurehaltigem Alkohol gelöst) ähnlich gelagerten Absorptionsstreifen nicht; es fand sich der Farbstoff in diesem demnach nicht präformirt vor, sondern war erst bei der Verarbeitung des Fleischextractes entstanden.

Um viele analoge, aber weniger durchsichtige biologische Thatsachen begreifen zu können, ist es nothwendig zu wissen, dass gewisse Substanzen (Kreatin, Inosit, Carnin) in den quergestreiften Muskeln der Wirbelthiere verhältnissmässig reichlich sich anhäufen und aus diesen nach den gebräuchlichen Methoden leicht zu isoliren sind, während z. B. der Harnstoff, als dessen Hauptproducenten wir nach Voit's Versuchen gleichfalls die Muskeln ansprechen müssen, bei den Wirbelthieren, mit alleiniger Ausnahme wohl sämmtlicher Rochen und Haie, stets nur unter ganz abnormen Bedingungen (nach Exstirpation der Nieren, nach Ureterenunterbindung, bei Cholerakranken, die im Stadium des Choleratyphoid gestorben sind) in sicher nachweisbarer und alsdann bisweilen auch in beträchtlicher Menge antreffen. In dem Retentionsvermögen der contractilen Gewebe gewissen Stoffen gegenüber bestehen aber, wie die vergleichend physiologische Behandlung dieser Frage mit Evidenz gelehrt hat, noch weitere sehr merkwürdige Verschiedenheiten in der Thierreihe. So liessen sich aus 1 1/2 kg blasser Muskeln von

1) Vgl. Krukenberg, Zur Charakteristik einiger physiologisch und klinisch wichtigeren Farbenreactionen a. a. O. S. 194.

Luvarus imperialis nicht weniger als 5 g reinstes Kreatinin gewinnen, wahrhaft colossale Quantitäten von Taurin werden bei einfacher Alkoholextraction aus den Muskeln der Cephalopoden (weniger aus denen anderer Mollusken) erhalten; auf ansehnliche Glykocollmengen stiess Chittenden bei Verarbeitung der Schliessmuskeln von *Pecten irradians*, der Fleischsaft der Rochen und Haie gleicht einer gesättigten Harnstofflösung und der Glykogenreichthum der embryonalen Wirbelthiermuskeln ist seit lange eine bekannte Thatsache. Diese Reihe zum Theil sehr räthselhafter Stoffretentionen in den Muskeln bei ganz bestimmten Thierklassen schien noch vervollständigt zu werden durch die von Liebig wie Carius constatirten reichlichen Harnsäureanhäufungen im Fleische von Alligatoren. Diese beiden, zwar von einander völlig unabhängig gemachten Beobachtungen boten indess nicht die erforderliche Garantie, dass es sich in den untersuchten Fällen um normale und nicht um rein pathologische Verhältnisse handelte. Krukenberg[1]) welcher mehrfach Gelegenheit fand, grosse Massen von Krokodil- wie Alligatorfleisch zu untersuchen, hatte in diesen niemals Harnsäureablagerungen so exquisiten Grades angetroffen, als es von den genannten Autoren beobachtet sein muss; auf eine regelrechte chemische Abscheidung dieser Substanz aus den Fleischauszügen war Krukenberg jedoch nicht eingegangen.

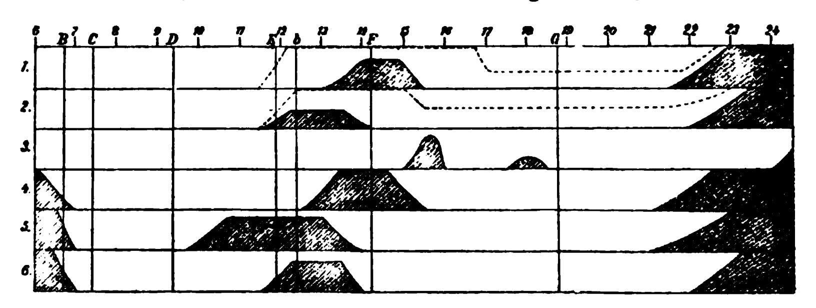
Nahezu 4 kg frischen, uns von Herrn Professor Bütschli zugestellten Krokodilfleisches, welches keine mikroskopisch wahrnehmbaren Harnsäureeinlagerungen aufwies, wurden in üblicher Weise mit Wasser möglichst vollständig extrahirt, der Fleischauszug zuerst mit Barytwasser, darauf mit neutralem Bleiacetat und schliesslich mit Bleiessig gefällt; jede dieser drei Fällungen wurde getrennt auf Harnsäure untersucht und zwar die Barytfällung mit negativem Resultate durch die Murexidprobe direct, die Bleiacetatniederschläge nach ihrer Zersetzung durch Schwefelwasserstoff und Concentration des entbleiten Filtrates. Es ergab sich, dass der neutrale Bleiacetatniederschlag nur Spuren von Harnsäure enthielt, während sich innerhalb einer Woche in dem entbleiten Filtrate, welches von der basi-

1) Krukenberg, Vergl.-physiolog. Studien 1882 II. Reihe 2. Abth. S. 84.

schen Bleiacetatfällung herrührte, ca. 4 g reine Harnsäure in den typischen Wetzstein- und Kammformen ausschieden und auch durch die Murexidprobe als solche sofort zu erkennen waren. Es ist demnach wohl anzunehmen, dass sich in dem Muskelgewebe der Alligatoren und Krokodile ausnehmend leicht grössere Harnsäuremengen anhäufen, und dass auch die ganz normale Muskulatur dieser Thiere mehr oder weniger Harnsäure stets enthalten wird.

In die nämliche Kategorie eines, gewissen contractilen Geweben eigenthümlichen Elections- und Retentionsvermögens zählt fernerhin die scharfe Abgrenzung der hell- und dunkelrothen Muskelgruppen beim Lachs, welche an der Schwanzmuskulatur dieses Fisches ganz besonders schön ausgeprägt ist. Die hellrothen Muskeln geben an Wasser nur Spuren von Farbstoff ab, welcher sich spectroskopisch als Hämoglobin ausweist, und dessen äusserst minime Mengen es ziemlich zweifellos machen, dass dieselben nur den intramusculären Gefässen entstammen. Heisser Alkohol wie alkoholischer Aether entziehen dagegen den hellrothen Muskeln den Farbstoff rasch und vollständig. Am zweckmässigsten verfährt man bei der Isolirung dieses Pigmentes folgendermaassen: Die rein präparirten Muskeln werden über conc. Schwefelsäure entwässert, mit Alkohol ausgekocht, die alkoholischen Farbstofflösungen filtrirt und nach Kühne's Methode verseift. Petroläther entzieht der Seife weder direct noch nach dem Aussalzen irgend welchen Farbstoff; Spuren gehen von diesem nach dem Aussalzen der Seife in Aether über, eine vollständige Farbstoffextraction lässt sich aber nur durch Essigäther erreichen. Nach dem Zersetzen der Seife mit Phosphorsäure nimmt sowohl Petroläther, Alkohol, Aether, Benzol, Chloroform wie auch Schwefelkohlenstoff das Pigment leicht auf; die Schwefelkohlenstofflösung ist schön purpurroth gefärbt, die der übrigen Flüssigkeiten mehr orange. Alle Lösungen zeigen im Spectrum das eine Band des Rhodophans (Spectr. 1 u. 2 auf S. 38), welches in der Schwefelkohlenstofflösung weit verwaschener als in den übrigen Flüssigkeiten erscheint. Die beim Verdunsten der Lösungen zurückbleibende Farbstoffmasse färbt sich beim Betupfen mit conc. Schwefelsäure oder mit starker roher Salpetersäure blau, mit Jod – Jodkaliumlösung + Essigsäure bisweilen grün und erweist

sich demnach auch durch dieses Verhalten als den Lipochromen zugehörig[1]). Von einem gelben Lipochrome, welches Schlossberger's Angaben[2]) zu Folge das Fleisch der Goldforelle zu färben scheint, machte sich uns bei Verseifung der Auszüge des rothen Lachsfleisches nichts bemerklich. In den dunkelrothen Lachsmuskeln fehlt das Rodophan vollständig; diese geben ihren sämmtlichen Farbstoff, der nichts anderes als Hämoglobin ist, an Wasser ab.



Erklärung der Absorptionsspectren.[3])

1. Rhodophan aus Lachsfleisch nach Verseifung des alkoholischen Auszuges, Behandlung der Seife mit Petroläther und Aether in phosphorsäurehaltigem Alkohol gelöst.
2. Dasselbe in Schwefelkohlenstoff gelöst.
3. Chlorophanartiges Lipochrom aus menschlichem gelben Knochenmark. Nach der Verseifung und Extraction der Seife mit Petroläther der Farbstoff in Aether gelöst.
4. Coffeïn mit Chlorwasser und einer Spur Salpetersäure auf dem Wasserbade zur Trockne verdunstet, Rückstand in Wasser gelöst und sofort untersucht. Purpurfarbige Flüssigkeit.
5. Dieselbe nach Ammoniakzusatz. Purpurlösung.
6. Theobromin mit Chlorwasser und einer Spur Salpetersäure auf dem Wasserbade zur Trockne verdunstet, Rückstand in Wasser gelöst und sofort untersucht. Purpurfarbige Lösung.

---

1) Die Lachssäure (acide salmonique) von Fremy und Valenciennes ist somit nichts anderes als ein unreines Rhodophan.

2) Schlossberger, Die Chemie der Gewebe Bd. 2 S. 152. Leipzig und Heidelberg 1856.

3) Auf obiger Spectraltafel haben wir zugleich das chlorophanartige Lipochrom berücksichtigt, welches aus gelbem, menschlichen Knochenmark mit alkoholischem Aether von uns extrahirt und in alkoholischer Lösung nach Kühne's Methode der Verseifung unterworfen wurde. Petroläther entzog der Seife nach dem Aussalzen fast sämmtliches Pigment, welches nach dem Verdunsten des Petroläthers mit Schwefeläther aufgenommen das oben wiedergegebene Spectrum darbot. Schon der directe Auszug des Knochenmarks mit alkoholischem Aether zeigte im Spectrum die Chlorophanstreifen.

Die Differenzen in der Färbung der beiden Muskelsorten beim Lachs muss um so auffälliger erscheinen als dieselben in ihrem sonstigen chemischen Baue (besonders im Fettgehalte) uns keine dem entsprechende Verschiedenheiten ergaben [1]). Die Schwierigkeiten, mit welchen die Untersuchungen so fettreicher, leicht dem Verderben ausgesetzter Organe zu kämpfen haben, liessen uns nur bei einer Versuchsreihe ein ausreichend zuverlässiges Resultat erzielen.

5,795 g der hellrothen Muskeln verloren beim Trocknen im Schwefelsäureexsiccator 3,5964 g = 62,06% Wasser. Bei der Extraction der entwässerten Muskeln anfangs mit alkoholischem (2:1), später mit reinem Aether ergab sich eine Gewichtsabnahme von 0,7621 g = 13,15% Fett (+ Rhodophan), und es hinterblieben 1,247 g = 21,52% fester Rückstand, wovon 0,008 g = 0,14% Asche waren. Der Verlust bei dieser Analyse betrug 0,1895 g = 3,27%.

6,73 g der dunkelrothen, hämoglobinhaltigen Muskeln verloren im Schwefelsäureexsiccator 4,041 g = 60,04% Wasser. Bei Extraction der so entwässerten Muskeln anfangs mit alkoholischem (2:1), später mit reinem Aether ergab sich eine Gewichtsabnahme von 1,047 g = 15,56% Fett, und es hinterblieben 1,22 g = 18,13% Rückstand, wovon 0,009 g = 0,13% Asche waren. Der Substanzverlust belief sich demnach bei dieser Analyse auf 0,422 g = 6,27%.

---

1) Krukenberg (Vgl. physiol. Studien I. Reihe 4. Abthl. S. 54—61 und Unters. a. d. physiol. Institut d. Univ. Heidelberg 1881 Bd. 4 S. 44 u. 45) hatte zuerst untersucht, ob mit den Differenzen in den Contractionserscheinungen und der Structur bei den quergestreiften blassen und rothen Muskeln nicht auch greifbare chemische Verschiedenheiten der Muskelbestandtheile Hand in Hand gehen. Seine Resultate waren für die blassen und rothen Skeletmuskeln von *Luvarus imperialis* und *Pelamys sarda* negativ ausgefallen. Glücklicher will jüngst Grützner gewesen sein, welcher, zwar auf sehr unvollkommene Nachweise gestützt, angibt, eine Differenz zwischen beiden Muskelarten in Betreff ihres Glykogengehaltes constatirt zu haben. Wie schon Gad (Jahresbericht für 1883 von Virchow und Hirsch 18. Jahrg. Bd. 1 Abthl. 1 S. 192) bemerkte, sind Grützner's beide Abhandlungen jedoch nicht frei von unlösbaren Widersprüchen und mit seiner Angabe, dass die den rothen Muskeln analogen Fasern der Strecker die dickeren, die den blassen Muskeln entsprechenden Fasern der Beuger die dünneren sind, stellt sich Grützner in diametralen Gegensatz zu allen übrigen Beobachtern, so z. B. zu Ranvier und Haller.

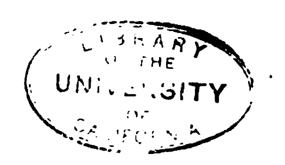
Es bestanden somit die

hellrothen rhodophanhaltigen Muskeln aus:		dunkelrothen hämoglobinhaltigen Muskeln aus:	
Wasser	= 62,06 %	Wasser	= 60,04 %
Fett	= 13,15 %	Fett	= 15,56 %
Festem Rückstande	= 21,52 %	Festem Rückstande	= 18,13 %
(wovon 0,14 % Asche)		(wovon 0,13 % Asche)	
	96,73 %		93,73 %
	(3,27 % Verlust).		(6,27 % Verlust).

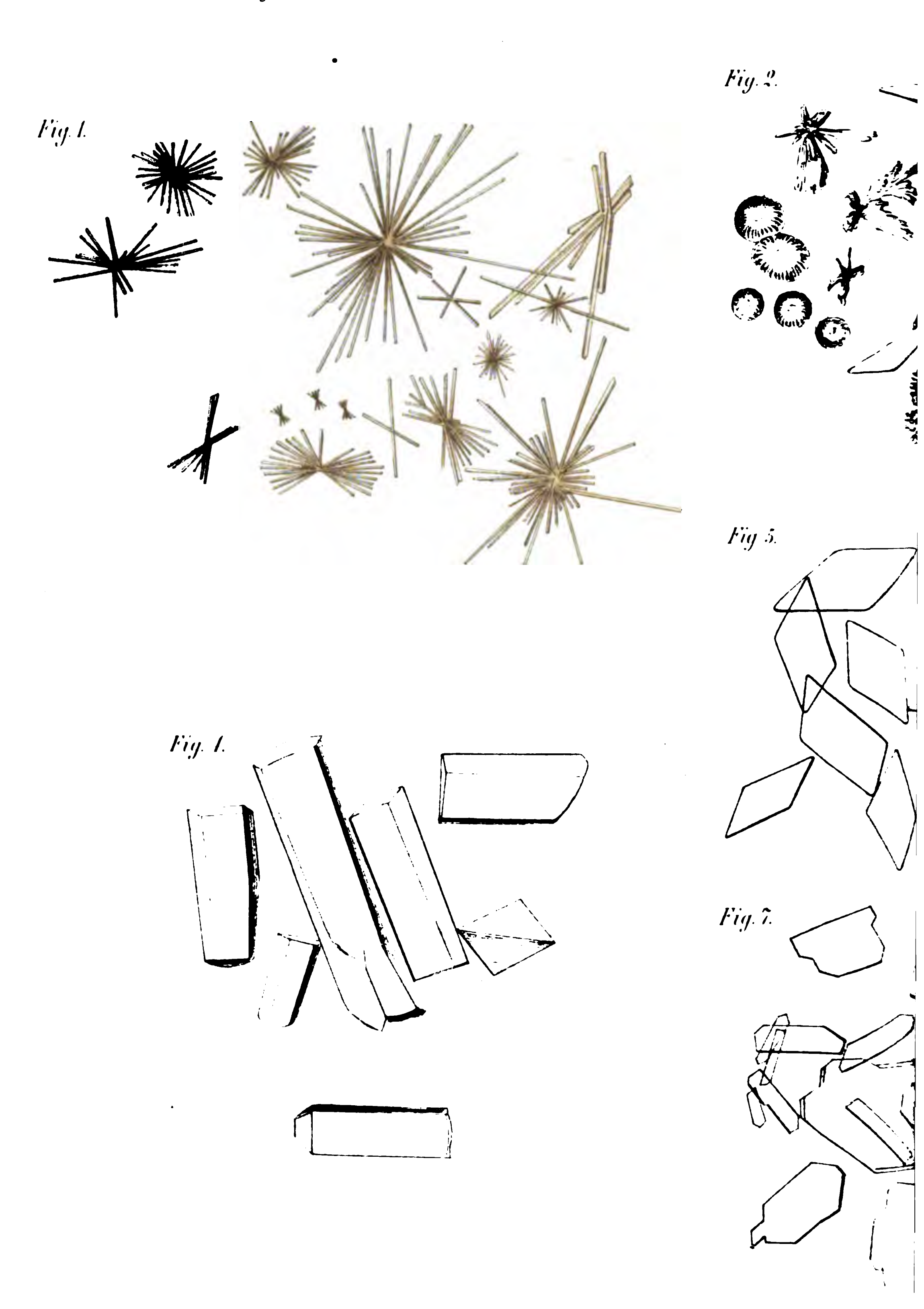
Erklärung der Krystallformen auf Tafel I.

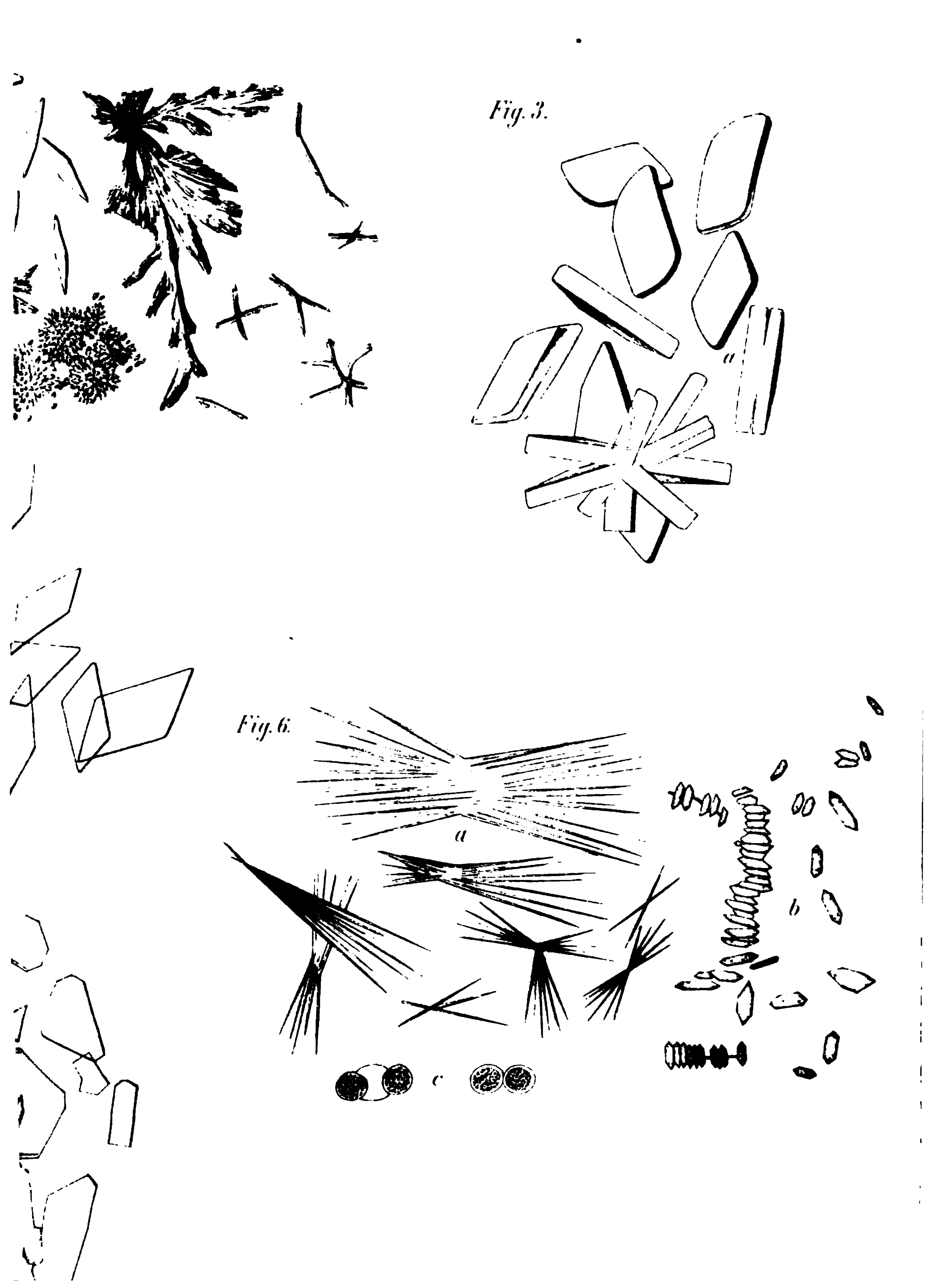
1. Salzsaures Carnin aus Liebig'schem Fleischextract. (Syst. IV, Oc. 3, kurzer Tubus eines Hartnack.)
2. Carninähnliche Substanz aus Froschfleisch. (Hartnack Syst. IV u. Syst. VII, Oc. 1, k. T.)
3. Carninähnliche Substanz aus Fischfleisch. (H. Syst. IV, Oc. 3, k. T.)
4. Salpetersäureproduct des carninähnlichen Körpers aus dem Fleische von *Alligator lucius*. (H. Syst. IV, Oc. 3, k. T.)
5. Salzsäureproduct derselben Substanz. (H. Syst. IV, Oc. 1, k. T.).
6. *a* = carninähnliche Substanz aus den Muskeln von *Homarus vulgaris* (H. Syst.. IV, Oc. 3, k. T.); *b* = beim Eintrocknen derselben an der Luft entstandenes Zersetzungsproduct (H. Syst. VII, Oc. 3, k. T.); *c* = Platinchloridverbindung der carninähnlichen Substanz aus den Hummermuskeln. (Schwache Vergrösserung.)
7. Der aus dem Liebig'schen Fleischextracte bei der Inositfällung erhaltene Niederschlag in Wasser gelöst und durch Salzsäureüberschuss gefällt. (H. Syst. IV, Oc. 3, k. T.).

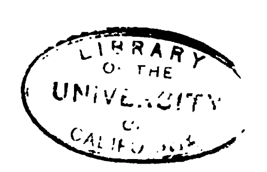
Die Umrisse sämmtlicher Krystalle sind mittelst der Camera möglichst genau entworfen.



Zeitschrift für Biologie. Band XXI




Fig. 3.
a
Fig. 6.
a
b
c



Histochemisches zur Nierenphysiologie.

Von

Dr. med. **H. Dreser,**

Assistent am physiologischen Institute zu Breslau.

Nachdem die Bowman'sche Hypothese durch die Versuche Heidenhain's an der Säugethierniere betreffs des Indigocarmins und der harnsauren Salze und ferner durch Nussbaum's interessante Unterbindungsversuche an der Froschniere experimentell begründet war, folgten dann noch die das gleiche Resultat ergebenden Beobachtungen von Möbius über die Ausscheidungsweise des Gallenfarbstoffs und von Ponfick über diejenige des Blutfarbstoffs nach [1]).

Von L. Glaevecke [2]) wurden Eisensalze, welche subcutan injicirt worden waren, mikrochemisch ebenfalls nur in den gewundenen Rindenkanälchen, aber nicht in den Kapseln kenntlich gemacht.

Diese Thatsachen reichen vollkommen aus, um mit Evidenz zu zeigen, wie bestimmte Abschnitte der Harnkanälchen durch Abgabe specifischer Stoffe in eine wässerige Flüssigkeit, diese erst zu dem machen, was man Harn nennt.

---

1) Die von Afanassiew beobachteten Ausscheidungen von Hämoglobin zugleich mit Eiweiss in den Kapseln waren mit ganz entschiedenen pathologischen Erscheinungen vergesellschaftet (Glomerulonephritis, Fettdegeneration und Coagulationsnekrose der gewundenen Harnkanälchen). Verhandl. des Congresses für interne Medicin. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

2) Ueber die Ausscheidung des Eisens und seine Vertheilung im thierischen Organismus nach Einspritzung von Eisensalzen. L. Glaevecke, Dissertation. Kiel 1883, C. F. Mohr.

Eine rein numerische Vermehrung solcher Substanzen dürfte wohl kaum noch erhebliches Interesse beanspruchen. Was mich aber zur Inangriffnahme der nachfolgenden Untersuchungen veranlasste, waren bisher noch vollständig offene Detailfragen von chemischem Interesse, und zwar waren es hauptsächlich zwei Fragen, deren experimentelle, histologische Beantwortung ich mir zur Aufgabe stellte.

1. Welches sind die Verhältnisse der Säureabsonderung?
2. Lässt sich in der secernirenden Drüsenzelle etwa wie in einem thätigen Muskel der Sauerstoffverbrauch direct an dem Secret nachweisen?

Der Lackmusfarbstoff, welcher sonst zur Ermittelung der Reaction der Gewebe gewöhnlich gebraucht wird, taugt für solche Versuche absolut nicht; er geht weder in den Harn über, noch ist er in den Muskeln von Fröschen durch Säuren oder Alkalien kenntlich zu machen. Ich wandte mich daher zu den Theerfarbstoffen, unter welchen mir das „säurebeständige Fuchsin“ (Handelsmarke „Rubin S.“) am tauglichsten erschien. Die angenehme Eigenschaft des Indigocarmins durch Alkohol gefällt zu werden besitzt es aber nicht; die Herstellung der so beliebten Dauerpräparate ist deshalb nicht möglich. Die Eigenschaften des Säurefuchsins, welche es für das physiologische Experiment verwendbar machen, sind: 1. sein Verhalten zu Säuren und Alkalien; Alkalien entfärben es, während Säurezusatz zu der farblosen, alkalischen Lösung die Farbe regenerirt; schon ein Strom freier Kohlensäure bewirkt Röthung, wenn auch nicht maximale; 2. geht Säurefuchsin in Galle und Harn über; 3. wird es im Thierkörper n i c h t zu einer farblosen Verbindung („Leukoverbindung“) reducirt.

Seiner chemischen Constitution nach ist Säurefuchsin ein Abkömmling des aromatischen Kohlenwasserstoffs Triphenylmethan:

$$HC \begin{cases} C_6H_5 \\ C_6H_5 \\ C_6H_5 \end{cases}$$

Das gewöhnliche Fuchsin resp. Rosanilin ist das HCl

Salz des Triamidotriphenyl c a r b i n o l s: $(HO)\ C \begin{array}{l} \diagup C_6H_4NH_2 \\ -C_6H_4NH_2; \\ \diagdown C_6H\,NH_2 \end{array}$

dieser Körper ist die „Farbbase" des Fuchsins. Unter Leukorosanilin versteht man diejenige Verbindung, welche an Stelle des (OH) der Carbinolgruppe nur H enthält. $HC \begin{array}{l} \diagup C_6H_4NH_2 \\ -C_6H_4NH_2. \\ \diagdown C_6H_4NH_2 \end{array}$ Diese „Leukokörper" entstehen aus den Farbstoffen durch Reductionsmittel. Da die Verbindungen der Leukobasen mit Säuren farblos sind, wird ihre Beziehung zu dem entsprechenden Farbstoff durch „Leuko" ausgedrückt. Durch Oxydationsmittel wie z. B. Eisenchlorid gehen sie in die eigentlichen Farbstoffe wieder über, welche sich zu ihren Leukoverbindungen verhalten wie Carbinol $HO\,CH_3$ zum Methan $H\,CH_3$.

Indessen auch die eigentliche Farbbase selbst kann unter Umständen f a r b l o s sein; nämlich dann, wenn sie aus ihren Salzen durch Zusatz von starken, fixen Alkalien als Hydrat abgeschieden wird. Es ist nämlich ein in der Theerfarbenchemie von O. d e W y t t ermitteltes Gesetz, welches lautet: Zur Entstehung eines Farbstoffs aus einem aromatischen Kohlenwasserstoff ist nicht bloss die Einführung des Chromophors (Azo- oder Nitro- oder Chinon-) und der salzbildenden Gruppe NH_2 oder OH nöthig, sondern auch das Vorhandensein einer i n n i g e r e n i n t r a m o l e c u l a r e n B i n d u n g. In unserem Fall entsteht aus der Farbbase des Rosanilins, dem Triamidotriphenylcarbinol bei der Salzbildung mit Säuren durch intramoleculare Wasserabspaltung das g e f ä r b t e, i n n e r e A n h y d r i t; ausserdem geschieht diese Wasserabspaltung auch bei höherer Temperatur ohne Salzbildung.

$$\underline{HO}\ C \begin{array}{l} \diagup C_6H_4NH_2 \\ -C_6H_4NH_2 \\ \diagdown C_6H_4NH \\ \qquad\quad\ \ \underline{H} \end{array} \qquad\qquad \ulcorner C \begin{array}{l} \diagup C_6H_4NH_2 \\ -C_6H_4NH_2 \\ \diagdown C_6H_4NH \lrcorner \end{array}$$

Hydrat — inneres gefärbtes Anhydrit

der Farbbase.

Das Säurefuchsin wird nun durch Erhitzen von Fuchsin mit concentriter Schwefelsäure dargestellt; dabei entsteht eine Sultosäure, indem die Stelle eines H-Atoms im Kohlenwasserstoffkern durch die Sulfogruppe SO_3H substituirt wird, analog wie aus Benzol Benzolsulfosäure wird: $C_6H_6 + H_2SO_4 = H_2O + C_6H_5\ SO_3H$ Benzolsulfosäure.

Aus dem Fuchsin ist eine Fuchsinsulfosäure geworden, genannt „Säurefuchsin“, welche sich aber dank der alkalischen Nachbarschaft der drei Amidogruppen, nur als sehr schwache Säure äussert, vielleicht noch schwächer als Kohlensäure. Die Gegenwart der Sulfogruppe im Molekül ist offenbar der Grund für die ausserordentliche Empfindlichkeit dieses Körpers gegen Alkalien und Säuren, denn sobald nur eine sehr kleine Menge des Säurefuchsins durch eine so schwache Säure wie Kohlensäure in Freiheit gesetzt wird, bildet es sofort sein inneres Anhydrit, was an dem Rothwerden der Flüssigkeit zu erkennen ist. Analog spaltet ja auch Kreatin in saurer Lösung intramolecular Wasser ab und geht in Kreatinin über. Dieser Vorgang erfolgt bei unserem Farbstoff nur noch viel prompter und ist an der Färbung der Flüssigkeit sofort wahrzunehmen.

---

1. Die Einverleibung des Farbstoffs geschah durch Einstichinjection mit der Pravaz'schen Spritze in den Dorsallymphsack des Frosches. Gewöhnlich wurden bis 5 %, höchst selten 10 % wässerige Lösungen injicirt. Schon nach einer halben Stunde war der durch den Glaskatheter entleerte Harn stark roth gefärbt. Die Farbe verschwand auf Ammoniakzusatz und kehrte wieder durch Ansäuerung. Der während der ersten Stunden des Versuches entleerte Harn war sehr tief dunkelroth.

2. An zwei durch Verdünnen mit Wasser hergestellten Proben von Harn, welcher aus dieser Versuchszeit stammte, bewirkte Zusatz von (gewöhnlicher) Essigsäure zu der einen keine Differenz ihrer Farbenintensitäten.

3. Dies Verhalten des Harns gegen Säuren will sagen: Parallel mit der ausgeschiedenen Menge des als Reagens auf dieselben benutzten Farbstoffs ist mindestens eine Quantität Säure oder saures Salz ab-

geschieden worden, welche äquivalent ist derjenigen Menge Alkali, die durch ihre Bindung an den Farbstoff farblosen Harn bedingt hätte.

4. Gibt man den Fröschen täglich ca. 3—4 Spritzen Säurefuchsin (5 %), so tritt oft schon nach 15—20 Stunden, bei grösseren, kräftigeren Exemplaren erst später, allmählich ein anderes Verhalten des Harns hervor. Seine Farbenintensität sinkt mit zunehmender Dauer des Versuchs trotz fortgesetzter Zufuhr. Er wird jetzt auf Zusatz von Säuren augenblicklich dunkler roth und zwar um so mehr, je heller er vor dem Ansäuern war.

5. Einfacher Zusatz von Wasserstoffhyperoxyd und anderen oxydirenden Lösungen wirkt nur als verdünnende Flüssigkeit; der Farbstoff ist also nicht durch Reduction entfärbt (keine „Leukoverbindung"), sondern durch Bindung an Alkali zum Theil latent. Erst wenn er durch eine stärkere Säure in Freiheit gesetzt wird, erkennt man den Totalgehalt des Harns an Säurefuchsin. Aber selbst durch starke Ansäuerung wird der Harn nicht mehr so tief roth, ja fast schwarzroth, wie die zu Beginn des Versuches entleerten Portionen waren.

6. Mit längerer Dauer der Secretion ändert sich also die Ausscheidung des Säurefuchsins zunächst einmal in quantitativer Beziehung, indem nämlich der Totalgehalt des Harns an Farbstoff (durch Ansäuern bestimmbar) herabgeht.

7. Zweitens ist aber auch die Art und Weise der Ausscheidung eine andere geworden. Die Zunahme der Farbenintensität durch Ansäuerung ist der Beweis dafür, dass nicht mehr wie zu Beginn des Experiments die Anzahl der sauren Moleküle derjenigen des Farbstoffs äquivalent ist. Mit andern Worten: die Ausscheidung der Säure und des Farbstoffs gehen nicht mit einander parallel, sondern es sinkt die Ausscheidung der Säure früher als diejenige des Farbstoffs in Folge der continuirlichen, übermässigen Anstrengung des secretorischen Apparates.

8. Bei genauerer Ueberlegung wird man in diesem Verhalten des Harns auch den Nachweis gegeben finden, dass das aus den Malpighischen Knäueln herunterströmende Filtrat unmöglich sauer sein kann, sondern von alkalischer Beschaffenheit sein muss. Wäre das Knäuelfiltrat nur neutral, so

wäre immer noch in Folge der, wenn auch verlangsamten und herabgesetzten, Säureausscheidung der Harn doch noch schwach sauer. Eine schwach sauere Reaction verursacht aber schon maximale Intensität des Farbstoffs. Wohl aber kann man sich Flüssigkeiten herstellen, welche gegen Lackmus noch schwach alkalisch reagiren und schon deutlich geröthet sind; so z. B. durch Ammoniak entfärbtes Säurefuchsin, welches bei vorsichtigem Zusatz von verdünnten Säuren sich zu röthen beginnt. Prüft man die Reaction einer solchen deutlich rosafarbenen Flüssigkeit, so findet man sie gegen rothes wie blaues Lackmuspapier noch deutlich alkalisch.

9. Zur Erklärung dieses eigenthümlichen Verhaltens muss daran erinnert werden, dass das als Säureindicator benutzte Säurefuchsin sich als sehr schwache Säure etwa wie Kohlensäure verhält. Sind nun in einer Flüssigkeit a Moleküle Alkali vorhanden, so werden diese die gefärbte Fuchsinsulfosäure in Beschlag nehmen unter Bildung gegen Lackmus alkalisch reagirender, farbloser Salze, und die Farbe ist latent, weil das farbige innere Anhydrit durch Wasser- resp. Alkaliaufnahme gesprengt worden ist. Setze ich nun von einer stärkeren Säure z. B. Essigsäure, Milchsäure, saures Phosphat u. s. w. eine Anzahl b Moleküle zu, die aber kleiner sei als a, so wird nur die entsprechende Menge der schwachen Sulfosäure in Freiheit gesetzt und bildet sofort ihr gefärbtes, inneres Anhydrit, während sich andrerseits aus der zugesetzten Säure und dem Alkaliüberschusse neutrales Salz bildet und alkalisch reagirendes Salz des Säurefuchsins die dominirende, alkalische Lackmusreaction verursacht. Ein Beweis, welcher die Behauptung Maly's ad oculos demonstrirt, dass in einer Flüssigkeit trotz alkalischer Reaction sauer reagirende Körper enthalten sein können, wie hier der geröthete Antheil des Farbstoffs.

10. Aus diesen Thatsachen und Betrachtungen geht hervor, dass der Harn eine Mischung zweier Factoren ist; die saure Componente stammt, wie ich später nachweisen werde (§ 13 und 14), aus den tubulis contortis, die alkalische stellt das Knäuelfiltrat dar. Bei übermässiger Thätigkeit geräth die Säureausscheidung ins Stocken und die Reaction des Knäuelfiltrates fängt an zu dominiren.

11. Interessant ist nun der mikroskopische Befund der Säurefuchsinnieren einmal im Anfang des Versuchs und dann zu der Zeit, wo der Harn blasser wird und auf Säurezusatz an Farbenintensität zunimmt.

12. Zu Anfang des Versuches etwa eine Stunde nach der Injection sehen die Nieren wie die jedes anderen Frosches aus [1]). Man sieht die in der Ventralhälfte liegenden Glomeruli mit Blutkörperchen gefüllt und farblos; die in der Dorsalseite gelegenen tubuli contorti besitzen nur das normal in ihnen vorkommende gelbe Pigment. Dagegen trifft man vereinzelt zwischen den Glomerulis und ventralwärts davon in dorsoventraler Richtung ziehende, scharf contourirte, kurze, dunkelrothe Linien. Ist der Schnitt günstig gefallen, so kann bei stärkeren Vergrösserungen sehen (200 lin.), dass dieser rothe Streif beiderseits von je einem hellen, farbstofffreien Bande umgeben ist, dem auskleidenden Epithel eines abführenden Harnkanälchens; der Farbstoff befindet sich also nur im Lumen desselben. Auf Querschnitten zeigt das Epithel dieser Kanälchen eine deutliche radiäre Streifung („Stäbchenepithel des vierten Abschnitts").

13. Ganz anders sieht die Niere aus wenn sie zu lange anhaltender Secretion des Säurefuchsins gezwungen wird. Alsdann ist etwas mehr als die dorsale Hälfte des Nierenquerschnitts fuchsinroth. Die Glomeruli selbst und der direct an diese stossende Hals ist farblos, selbst nach mehrtägiger Zufuhr des Farbstoffs. Die ab-

1) Am geeignetsten macht man mit einer feinen Scheere möglichst dünne, dorsoventrale Querschnitte, also senkrecht zur Längsachse des frischen Organs. Man breitet sie sachte mit Nadeln in 0,6 % ClNa-Lösung oder auch ohne Zusatzflüssigkeit aus und kann, im Falle der Schnitt noch etwas dick ist, durch einen gelinden Druck auf das Deckgläschen ihn noch besser ausbreiten. Sämmtliche Härtungsmittel, welche doch diffundiren müssen, würden dadurch die Topographie der chemischen Reaction nur verwischen. Die so viel gepriesene histologische Technik mag für nur morphologische Zwecke ganz gut sein, für solche feine chemische Unterschiede ist sie viel zu plump und kann nur alles verderben. Gefrierschnitte könnten noch allein in Betracht kommen. Der dorsoventrale Querschnitt hat den Vortheil, die verschiedenen Abschnitte der Harnkanälchen am besten neben einander sehen zu lassen. In der Ventralhälfte Glomeruli und der vierte Abschnitt mit Stäbchenepithel; in der Dorsalhälfte die tubuli contorti theils mit, theils ohne gelbes Pigment (zweiter Abschnitt).

weichenden Verhältnisse zeigt der dorsale Abschnitt der Niere. Schon makroskopisch sieht man ihn lebhaft roth gefärbt, während der ventrale Abschnitt blass erscheint.

14. In der roth gefärbten Partie liegen nämlich die „zweiten“ Abschnitte der Harnkanälchen, die tubuli contorti. Die Farbe derjenigen Harnkanälchen, welche schon normaliter gelbes Pigment führen, neigt mehr zum Blutrothen. Sie erscheinen bei 50—90 lin. Vergrösserung als rothe Bänder, welche aber nicht im Lumen der Kanälchen stecken, sondern so breit sind, wie diese selbst. Ihre Ränder sind nicht scharf abgeschnitten, sondern etwas verwaschen. Die Achse dieser Kanälchen ist lebhafter gefärbt und stellt sich an quer getroffenen Kanälchen als ein an das ziemlich enge Lumen direct anstossender, intensiv gefärbter, Ring dar.

15. Isolirt man die Epithelzellen aus solchen Tubulis durch Zerzupfen in 0,6 proc. Kochsalzlösung, so sieht man bei 500—600 lin. Vergrösserung, dass die einzelnen Zellen nicht diffus gefärbt sind, sondern ihr Protoplasmaleib selbst ist farblos, dsgl. auch stets die Kerne. Der Farbstoff ist lediglich in sehr kleinen auf der Lumenseite der Zelle befindlichen Körnchen enthalten, welche, wenn man schnell genug verfahren ist, noch die Brown'sche Molecularbewegung zeigen. Um diese Zeit der Untersuchung kann also das Protoplasma einer solchen Drüsenzelle unmöglich geronnen sein, sie muss sich noch im Ueberlebenszustande befinden. Man kann darum auch nicht einwenden, der Farbstoffgehalt sei nur ein postmortaler; durch die angestrengte Thätigkeit sei die Secretionszelle, wie dies ja bei anderen Drüsen vorkommt, zu Grunde gegangen, und habe sich post mortem mit Farbstoff beladen. Wäre letzteres der Fall, so wäre aber auch die Färbung eine ganz andere, nämlich diffus.

16. Bei scharfer Einstellung auf den Rand dieser Körnchen sind sie ganz deutlich roth gefärbt, beim Heben des Tubus leuchten sie auf und sind also stärker lichtbrechend als der Zellleib.

17. Die isolirten Epithelzellen liegen theils en face, theils sind sie im Profil zu sehen, ich meine wie auf einem Kanälchenquerschnitt. In diesem Falle sieht man, dass sich die Secretkörnchen nur auf der Lumenseite der Zelle befinden und dass sie es sind, welche den an den quer getroffenen Kanälchen beschriebenen centralen, rothen

Ring bedingen. Bei den en face liegenden Zellen kann man sich durch verschiedene Einstellung überzeugen, dass der stets farblose Zellkern und die rothen Körnchen in verschiedenen Niveaus liegen.

18. Man trifft auch wieder die scharf begrenzten, rothen Linien von vielleicht etwas weniger tief fuchsinrother Färbung wie zu Anfang des Versuchs; dies ist der gefärbte Harn, der vom vierten Abschnitt der Harnkanälchen in die dorsalgelegenen Sammelröhren abgeführt wird. Diese scharf contourirten rothen Striche sind eine Selbstinjection des zum Ureter ableitenden Kanalsystems, nicht aber der activen, secretorischen Abschnitte.

19. Worauf beruht nun dieses verschiedene Verhalten und mikroskopische Aussehen der Niere in den verschiedenen Stadien des Versuches? Die Bedingungen, unter welchen das Epithel der tubuli contorti sich färbt, sind: 1. länger anhaltende Secretion, 2. Ueberladung des Blutes mit Säurefuchsin, welches aber als alkalische Flüssigkeit den Farbstoff latent macht.

20. Der Grund, weshalb im Beginn der Secretion das Drüsenepithel der Niere farblos ist, könnte einmal der sein, dass die Drüsenzellen den Farbstoff in alkalischer Lösung absonderten, oder aber, und dies ist wahrscheinlicher, kann die noch nicht im Uebermaass in Anspruch genommene Zelle das aufgenommene Säurefuchsin so rasch eliminiren, dass sie trotz saurer Reaction zu wenig Pigment enthält, um gefärbt zu erscheinen. Aehnlich ist es ja auch bei der Leber; die Hauptbestandtheile der Galle, welche von den Leberzellen gebildet werden, sind im normalen Zustand in den Leberzellen nicht vorhanden, kommen somit bei ihrer Entstehung sofort zur Ausscheidung. Die von Nussbaum zuerst hervorgehobene Farblosigkeit der Froschniere bei Indigocarmin darf nur auf solche Weise erklärt werden; auf Reduction kann sie nicht beruhen, denn dann müsste im Harn bei dessen sehr kleinen Sauerstoffgehalt noch durch Eisenchlorid oxydirbares Indigoweiss vorhanden sein, was ich aber niemals gesehen habe.

21. Die Function des secernirenden Epithels ist eigentlich eine zweifache: 1. Aufnahme der auszuscheidenden Substanzen aus der umspülenden Lymphe, eventuell auch Bildung von ihren Paarlingen; 2. die Ausscheidung selbst.

22. Während offenbar in der ausgeruhten Zelle die Ausscheidung der Aufnahme vollständig das Gleichgewicht hält, nicht bloss für die kleinen Quantitäten Excretionsmaterial, die der physiologische Stoffwechsel liefert, sondern auch noch für die grossen Farbstoffmengen, wie sie gerade in den ersten Versuchsstunden eliminirt wurden, so tritt doch nach einiger Zeit (15—20 Stunden) eine offenbare Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des activ secretorischen Theils der Niere zu Tage, während die Wasserausscheidung ungestört flott weitergeht.

23. Diese offenbare Ermüdung der Drüsenepithels und der Nachlass seiner Thätigkeit kann, da die Excretion eigentlich aus zwei Unterfunctionen besteht, einmal die Folge einer verminderten Aufnahme oder aber, wenn diese ungeändert ist, die Folge herabgesetzter Ausscheidung sein. Die in § 14 beschriebenen Ermüdungsbilder beweisen, dass die eigentliche Ausstossung die grössere Anstrengung der Zellen der Froschniere erfordert, indes die Aufnahme ruhig weiter geht.

24. Die Folge dieser Incongruenz beider Functionen ist eine Stauung des zu secernirenden Materials, welcher es allein zu verdanken ist, dass wir die Absonderungsstätte anatomisch als die tubuli contorti definiren können. Da, wie in § 7 hervorgehoben ist, die Säureausscheidung eher stockt als die Farbstoffausscheidung, so müssen diese rothgefärbten Zellen nicht bloss das Säurefuchsin, sondern auch die Säure des Harns liefern, denn ohne saure Reaction wäre der Farbstoff nicht wahrnehmbar. Nach den Beobachtungen Heidenhain's über Harnsäure und Uratausscheidung war dies auch schon a priori zu erwarten.

25. Aus diesen Experimenten geht ausserdem noch hervor, dass die Drüsenzelle ebenso gut, wie eine Muskelzelle durch anhaltenden Tetanus ermüdet, indem sie durch die regelmässigen Farbstoffinjectionen in einen „Secretionstetanus" gebracht wird. Der Muskel erhält seine Impulse aber vom Nerven aus, während die Drüsenzelle der Niere durch die in der umspülenden Lymphe gelösten secernirbaren Substanzen direct ihre Erregung empfängt. Wenigstens hat sie die Secretion bis jetzt noch zu Stande gebracht, ohne dass eigene Nervenfasern für sie vindicirt werden mussten.

26. Ausser dem sichtbaren Säurefuchsin ist aber in der Lymphe noch eine ansehnliche Menge davon durch das alkalische Parenchym latent. Setzt man zu den Nierenquerschnitten auf dem Objectträger noch Essigsäure zu, so werden diejenigen Partien, die Lymphräume zwischen den Tubulis, welche vorher ungefärbt waren, diffus roth.

27. Die Menge des Alkalis in einer Niere, welche frisch untersucht lebhaft rothe tubuli contorti zeigt, ist so gross, dass es deren saure Reaction noch übercompensirt. Tödtet man die Zellen der Niere durch Eintauchen in siedendes Wasser während weniger Secunden, so sind die vorher beobachteten Unterschiede verschwunden. Ueberall ist dieselbe gelbliche Farbe. Das gleiche Resultat bekommt man, wenn man die Niere einfach trocknet, indem auch hierbei jede Farbendifferenz schwindet.

28. Durch die beiden letzteren Verfahren erhält man die Summenreaction des Nierengewebes, denn mit dem Absterben der Zelle ist der Diffusion der Weg in dieselbe geöffnet; die Werthe mit entgegengesetzten chemischen Vorzeichen gleichen sich aus und die Entfärbung ist der Beweis dafür, dass das Alkali über die Säure überwiegt.

29. Die stets beobachtete Farblosigkeit der Glomeruli und der Kapseln könnte zweierlei Ursache haben: es könnte der Farbstoff die Knäuel entweder gar nicht passiren oder vielleicht in alkalischer Lösung. Um über die Reaction des Knäuelfiltrates Aufschluss zu erlangen wandte ich eine Versuchsmethode an, die von Grützner[1]) herrührt. Dieser Autor stellte nämlich, um die mit Recht auffallende Erscheinung zu erklären, dass carminsaures Ammoniak in den Glomerulis austrete, folgenden höchst interessanten Versuch an: er löste Indigocarmin in einer 2 proc. Gummiarabicumlösung auf; schon nach einer recht kleinen Injection dieser Lösung bekam er hellblaue Kapseln. Viscosität des Blutplasmas rief Albuminurie durch Ausscheidung von Eiweiss in den Kapseln hervor; es kam sogar zur Anurie. Analog versuchte ich beim Frosch durch Säurefuchsin die Reaction des Knäuelfiltrats unter diesen allerdings nur pathologischen Bedingungen zu erfahren. Als ich nun Säurefuchsin mit 2 proc. Gummi-

1) Pflüger, Archiv Bd. 24 S. 461.

lösung in die Bauchvene injicirte, erfolgte zwar auch Anurie, aber an den Glomerulis und Kapseln war nichts von Farbe zu sehen. Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass sich das Säurefuchsin wie das Indigocarmin bei den Gummiinjectionen in den Kapseln in geringer Menge ausgeschieden haben wird, aber durch die Alkalescenz daselbst latent ist.

30. Um indessen eine noch präcisere Antwort darauf zu bekommen, ob Farbstoffe von dem chemischen Bau wie Säurefuchsin durch die Kapseln gehen, stellte ich Versuche mit Phenolphthalein an, wovon ich eine gesättigte, fuchsinrothe 0,5 proc. Sodalösung in den Lymphsack injicirte. Der Harn war farblos, wurde aber auf Zusatz von Natronlauge fuchsinfarben. Das Phenolphthalein ist gleichfalls wie Fuchsin ein Derivat desselben Stammkohlenwasserstoffs Triphenylmethan. Seine Constitutionsformel ist:

$$C \begin{cases} C_6H_4OH \\ C_6H_4OH \\ C_6H_4CO \end{cases}$$

Die Phenolphthaleinniere war mikroskopisch farblos, sowohl die Kapsel, wie das übrige Parenchym. Bei Zusatz von sehr schwacher Natronlauge zu dem Schnitt war derselbe nach ca. 3 Minuten roth geworden, und zwar die tubuli contorti, während die Schichte der Glomeruli ein farbloses Band bildeten. Es passiren also normaliter Farbstoffe von diesem Molecularvolumen gar nicht die Kapseln.

31. Vom Standpunkte der Ludwig'schen Hypothese könnte meinen Säurefuchsinexperimenten auch die Deutung untergeschoben werden: „Die Rothfärbung der tubuli contorti beruht auf Resorption, sei es, dass sie das Säurefuchsin in alkalischer Lösung ausscheiden und erst roth werden, indem sie die Säure des Harns [1]) resorbiren, denn so könnte auch die allgemeine Verarmung des definitiven Harns an Säure erklärt werden, oder aber der gesammte Harn ist schon als sehr diluirte Lösung in den Kapseln ohne merkbare Färbung ausgetreten, erst weiter unten concentrirt er sich durch die übliche Wasserresorption und die Farbe wird sichtbar."

1) Donders nahm z. B. an, das Knäuelfiltrat besitze sauere Reaction. (Nachweis?)

32. Wenn aber Farbstoff mit in die Zellen durch Resorption gelangt ist, so ist diese schon keine Wasserresorption mehr. Die Nussbaum'sche Arterienligatur gestattet den Experimentalbeweis gegen alle diese Annahmen zu führen [1]). Nach Unterbindung der Nierenarterien, ungefähr eine Stunde nach der Operation, wurde einem Frosch das Säurefuchsin durch Injection in die vordere Bauchvene beigebracht. Die Harnblase blieb leer, aber die 1 bis 2 Stunden später ausgeführte mikroskopische Untersuchung solcher Nieren ergab rothe tubuli contorti. Bei nicht operirten Fröschen waren die Nieren um diese Zeit noch nicht gefärbt. Die Glomeruli waren also eliminirt, und da das aufgespeicherte Secretmaterial der Epithelien der gewundenen Harnkanälchen durch vorbeiströmendes Knäuelfiltrat nicht mehr aus ihnen ausgelaugt werden konnte, so blieb der Befund in den tubulis contortis unverwischt. Das Bild des ermüdeten Organs glich nunmehr dem des erst seit kurzer Zeit thätigen Organs vollkommen. Durch den Kunstgriff der Nussbaum'schen Operation musste das Secret der Tubuli liegen bleiben in loco, wo es ausgeschieden war und auch in statu, nämlich in saurer Reaction.

33. Heidenhain hat bei seinen Versuchen mit Indigocarmin unter Umständen auch die Kerne des absondernden Epithels blau

---

1) Die Unterbindung der arteriae renales beim Frosch habe ich nicht nach dem von Nussbaum selbst angegebenen Verfahren ausgeführt, sondern ich legte die Aorta durch Abtragung der vorderen Steissbeinhälfte und der zwei letzten Wirbel vom Rücken aus bloss. Da die Ursprünge der kleinen Nierenarterien an Zahl inconstant sind, unterbindet man alle zwischen der Vereinigung zur unpaaren Aorta und dem Abgang der art. intestinalis einerseits bis zu den art. iliacae, andrerseits aus der Aorta entspringenden Gefässe. Man ist dann sicher, keinen arteriellen Nebenzweig stehen zu lassen; auch ist eine Verwechselung mit venae revehentes vollkommen zu vermeiden durch in die Höhe heben der Aorta, wodurch sich nur die Nierenarterien anspannen. Die Blutstillung erfolgt am besten thermokaustisch. Gleich nach der Operation kam in der Schwimmhaut die Circulation schon wieder in Gang. Die Frösche lebten darnach noch 4 — 5 Tage, wenn sie kühl gehalten wurden. Die Controle, dass wirklich aus der vena portae kein Collateralzufluss statt hatte, wurde mittels Zinnoberinjection in die Bauchvene geübt, die Niere in Alkohol gehärtet, in Paraffin eingeschmolzen und mit dem Mikrotom geschnitten. Während die übrigen Gefässbahnen durch Zinnober gekennzeichnet waren, enthielten die Glomeruli zwar Blutzellen, aber nie auch nur ein Körnchen Zinnober.

gefärbt gefunden. Bei meinen Versuchen mit Säurefuchsin fand ich, trotzdem ich stets meine Aufmerksamkeit darauf richtete, nie Kernfärbungen. Bei analogen Versuchen mit Bordeauxroth, Fuchsin, Säureviolett fand ich nach ca. dreitägiger Secretion wenigstens einige, wenn auch vereinzelte Kanälchen mit gefärbten Kernen, aber nur wenig Secretkörnchen. Diese Kanälchen enthielten nie das natürlich vorkommende gelbe Pigment; an den gelbes Pigment führenden Kanälchen sah ich überhaupt nie Kernfärbung [1]). Es ist mir nun sehr wahrscheinlich, dass die Kerne der entsprechenden Kanalabschnitte auch das Säurefuchsin enthalten werden, aber dasselbe unsichtbar machen, in Folge ihrer alkalischen Reaction. Denn Versuche mit dem Säureviolett, welches dem Säurefuchsin sehr nahe verwandt ist aber nicht so hoch empfindlich gegen Alkalien, ergaben hier nun Kanälchen mit ganz deutlicher Kernfärbung, trotzdem die Intensität der Färbung der Niere weit hinter der mit Säurefuchsin zurückstand und der Harn auch nur blass gefärbt war.

34. Ferner will ich nicht unerwähnt lassen, dass die Frösche gegen die Salze der Farbbasen, wie Fuchsin, Methylviolett, Methylgrün u. s. w. viel empfindlicher sind als gegen die Sulfosäuren dieser Farbstoffe. Sehr viel leichter tritt schon bei viel kleineren Gaben der Farbbasen Verlust der Reaction gegen äussere Reize Bewusstlosigkeit, Coma und Tod ein als durch die entsprechenden Sulfosäuren, bei welchen es auch bei weitem nicht so leicht zur Anurie kommt. Ich finde diesen Unterschied deshalb erwähnenswerth, weil Stolnikow [2]) von Neuem wieder auf den bedeutenden Einfluss hingewiesen hat, den die Einführung und Substitution mancher Atomgruppen in Gifte und ähnlich wirkende Körper in deren Wirkungsweise hervorbringt.

---

1) Es liegt sehr nahe, diese Frage durch einfachen Essigsäurezusatz entscheiden zu wollen. Wie leicht indes ein solches Vorgehen zu Täuschungen Anlass geben kann, zeigt folgender Versuch mit farblosem Blut von Säurefuchsin-Fröschen. Auf Säurezusatz werden die Kerne der rothen Blutkörperchen sehr bald rosenroth. Lässt man dagegen Eisessigdämpfe auf ein aufgetrocknetes Blutpräparat wirken, so wird das aufgetrocknete Plasma stark roth, die Blutzellen und ihre Kerne dagegen bleiben unverändert. Die Kernfärbung bei Ansäuerung in Lösung beruhte somit auf postmortaler Diffusion, welche bei Einwirkung von trocknen Dämpfen ausgeschlossen ist.

2) Zeitschr. f. physiolog. Chemie 1884 Bd. 8 S. 235.

35. Von anderen Theerfarbstoffen habe ich, gleichfalls um die Reaction des Ausscheidungsortes zu ermitteln, das Alizarincarmin angewandt. Dieser Farbstoff ist das Natriumsalz der Alizarinsulfosäure, er ist in neutraler Lösung gelbroth und wird durch Alkali blauviolett, durch stärkere Säure gelb. Ich injicirte wieder je zwei Tage 1—2 Spritzen seiner 1 proc. Lösung, während die Frösche feucht gehalten wurden, um Harn zu bekommen. Dieser hatte die rothgelbe Farbe des neutralen Farbstoffes und wurde durch Alkalizusatz violett. Miskrokopisch zeigten die Nierenquerschnitte farblose Knäuel und Kapseln; durch diese war also der Farbstoff nicht ausgetreten. Aber auch die gelben tubuli contorti, welche sonst das Säurefuchsin, Bordeaux u. s. w. enthielten, besassen weder rothen noch blauen Farbstoff, sondern nur ihr natürliches gelbes Pigment. Es fanden sich dagegen intensiv gefärbte Kanälchen und zwar sowohl rothe wie blaue in der ventralen Nierenhälfte. Ihrer anatomischen Lage nach, und da sie ausserdem ohne natürliches Pigment sind, entsprechen sie nur den „vierten Abschnitten“ der Harnkanälchen, welchen bei den Säugern der breite, aufsteigende Theil der Henle'schen Schleife mit dem gewundenen Schaltstücke entspricht. Man sieht das verjüngte eine Ende eines solchen Kanälchens in seiner ganzen Breite roth gefärbt und so intensiv mit Farbstoff beladen, dass eine Erkennung von Zellstructur absolut nicht möglich ist; die Rothfärbung setzt sich noch eine kurze Strecke weit in seinen dickeren Theil fort, hier setzt entweder eine blau gefärbte Region ganz scharf ein oder in dem noch rothen angrenzenden Theil sind kleine blaue Inselchen eingesprengt, die rasch dichter zusammendrückend den meist längeren blauen Abschnitt formiren, an dem gelegentlich auch ein verjüngtes Ende zu sehen ist. Bei Ammoniakzusatz wird auch der vorher rothe Abschnitt blau, die Glomeruli und die dorsalen gelben tubuli contorti bleiben aber unverändert in ihrer Farbe.

Diese Alizarincarminversuche sind darum besonders merkwürdig, weil dieser Farbstoff gar nicht an der gewöhnlichen Stelle (zweite Abschnitte, gelbe tubuli contorti), sondern nur an tieferen Kanalabschnitten angestaut wird und hier ausserdem noch die Curiosität besteht, dass ein Theil mit alkalischer Reaction (blauviolett), der

andere mit neutraler oder ganz schwachsauerer Reaktion (rothgelb) ausgeschieden wird.

Hiermit habe ich die eine Frage nach der Reaktion der secretorischen Abschnitte erledigt und gehe jetzt zur zweiten über, welche lautete: Lässt sich an der secernirenden Drüsenzelle ein Sauerstoffverbrauch direct an dem Secret nachweisen?

36. Durch Lavoisier ist der Grundcharakter der Lebensprocesse im thierischen Organismus als ein Oxydationsvorgang klar gelegt worden. Die nach Eingabe von Benzol erscheinende Phenylschwefelsäure beweist dessen Oxydation bei seinem Uebergang in den Harn; diese äusserst kräftige Oxydation dürfte wohl kaum im Blut oder Lymphe, sondern nur im Nierengewebe vor sich gehen.

37. Eine andere Reihe von Vorgängen in der Niere war durch den von Wöhler zuerst beobachteten Uebergang von Benzoësäure in Hippursäure schon angedeutet, nämlich die Synthese durch Anhydritbildung. Die Hippursäurebildung galt aber so lange als Curiosum, bis die in dem lezten Decennium erschienenen zahlreichen Arbeiten über die im Harn auftretenden Paarlinge nach Eingabe von meist der aromatischen Reihe angehörigen Substanzen der normalen, lebenden Niere das Vermögen der synthetischen Bildung von Paarlingen durch Abspaltung der Elemente des Wassers als ein vollkommen durchgreifendes vindicirten.

38. Eine kleine Anzahl von Substanzen, deren Entstehung auf Reductionsprocessen innerhalb des Organismus beruhen muss, ist gleichfalls schon bekannt, z. B. die Harnsäure und Jaffé's Urobilin. Nach Versuchen von Wöhler [1]) wird Hunden eingegebenes Ferricyankalium in die Ferroverbindung übergeführt. Ferner geht nach Lautemann die Chinasäure $C_7 H_{12} O_6$, wenn sie Kaninchen eingegeben wird, in Benzoësäure über. Prüft man indessen diese beiden letzten Beispiele genauer, so erkennt man, dass sie für eine im Organismus selbst stattfinden Reduction durchaus nicht beweisend sind. Denn das Ferricyansalz und die Chinasäure waren vom Darmkanal aus resorbirt worden; Fäulnissvorgänge und Gärungsprocesse, wie z. B. die Fettsäuregärung, liefern reducirende Substanzen in ausreichender Menge.

1) Tiedemann's Untersuchungen 1824 Bd. 1 S. 325.

39. Bei dieser Art und Weise die zu prüfenden Körper in die Säftemasse überzuführen, weiss man nie, ist eine vorliegende reducirte Substanz Effekt der Bakterienwirkung oder die Zellenthätigkeit des Organismus selbst. In der That ist Ferricyankalium, wie Wöhler selbst angibt und am Darminhalt nachwies, schon hier reducirt worden; die Chinasäure wurde ebenfalls nicht reducirt, als Stadelmann sie den Kaninchen direct ins Blut einführte.

40. Die Einführung ins Blut- oder Lymphgefässsystem ist die für solche Körper, die man auf ihre Reduction durch den Organismus selbst prüfen will, allein zulässige Methode[1]).

Das Lungenepithel resorbirt zwar auch sehr rasch, indessen dürfte es zu gefährlich sein, durch Infusion in den Bronchialbaum die Lösungen resorbiren zu lassen. Die Lymphsäcke der Frösche sind für derartige Versuche ausgezeichnet.

41. Auf diesem vorwurfsfreien Wege kann man sicher den Beweis liefern, dass der Organismus selbst über reducirende Kräfte verfügt. Am geeignetsten wird dies demonstrirt mit Hilfe des von Caro dargestellten Farbstoffes Methylenblau. Es gehört zur Klasse der Azofarbstoffe, d. h. der Chromophor ist die Azogruppe $R'-N=N-R'$. Wird diese doppelte Bindung durch Reduction aufgelöst, so entsheht die Hydrazoverbindung $R'-NH-NH-R'$, welche farblos ist und den „Leukokörper“ des Farbstoffs darstellt; durch Oxydation, schon durch den Sauerstoff der Luft, gehen diese Leukokörper wieder in den Farbstoff über. Man kann jeden Azokörper durch Reduction leicht in den Hydrazokörper überführen. Diese Reduction kann in alkalischer Lösung (Schwefelammonium) oder in saurer (Zinkstaub und Salz- oder Essigsäure) vorgenommen werden. In alkalischer Lösung geht die Reduction nicht weiter als bis zur Hydrazoverbindung; in saurer dagegen wird durch weitere H-Aufnahme die Hydrazogruppe gespalten, so dass die aromatischen Amide entstehen; z. B. aus Azobenzol: $C_6H_5N=NC_6H_5$ wird zunächst Hydrazobenzol: $C_6H_5N_{H}-_{H}NC_6H_5$ und weiterhin zwei Moleküle

1) G. Hoppe-Seyler hat nach subcutaner Injection von Orthonitrophenylpropiolsäure im Kaninchenharn mit der Jaffé'schen Reaction Indigo bekommen; damit diese Reaction gelingen konnte, musste die Orthonitrophenylpropiolsäure reducirt worden sein. Zeitschr. f. physiolog. Chemie Bd. 7 S. 407.

Anilin $C_6H_5NH_2$, $H_2NC_6H_5$. Einfache Oxydationsmittel wie Eisenchloridzusatz vermögen, nachdem die Reduction bis zur Bildung von Amidokörpern vorgedrungen ist, die Farbe nicht mehr zu regeneriren, denn die Azogruppe, der Chromophor, besteht nicht mehr und Eisenchlorid vermag die N-Atome zweier Anilinmoleküle nicht mehr zur Azogruppe zusammenzukuppeln, wohl aber vermag es, wenn die Reduction nur bis Hydrazo gegangen ist, die H-Atome durch Oxydation zu eliminiren, so dass die doppelte Bindung $N = N$ und damit die Farbe regenerirt wird. Man hat also in dem Verhalten des farblosen Reductionsproductes eines Farbstoffes gegen Eisenchlorid oder atmosphärische Luft ein sehr gutes Kriterium, ob die Reduction nicht weiter als bis zur Hydrazoverbindung gegangen ist, wobei sie in alkalischer Lösung auch bei Ueberschuss von Schwefelammonium stehen zu bleiben pflegt, oder ob sie bis zu den Amidokörpern gegangen ist, was sehr leicht in saurer Lösung geschieht.

42. Durch weitere Sauerstoffaufnahme entsteht aus dem Azobenzol das gleichfalls gefärbte Azooxybenzol $C_6H_5N = NC_6H_5$:

$$C_6H_5N{-}NC_6H_5.\quad (\text{N—N bridged by } \diagdown O \diagup)$$

An Stelle der Azooxygruppe $R'N{-}NR'$ (bridged by $\diagdown O \diagup$) enthält das Methylenblau einen schwefelhaltigen Chromophor:

$$\begin{array}{l} \quad\quad\;\, \diagup N(CH_3)_2 \\ C_6H_3 \diagdown \\ \;\,| \quad\quad\;\, N \diagdown \\ \quad\quad\quad\;\, | \quad\; S \\ C_6H_3 \;\; N \diagup \\ \quad\quad\;\, \diagdown N(CH_3)_2 \end{array}$$

Es ist nun eine Eigenthümlichkeit gerade dieses S-haltigen Farbstoffes, dass die Reduction selbst in saurer Lösung die Bindung der beiden N-Atome an einander nicht zu sprengen vermag.

43. Man injicirt ½—1 proc. Lösungen des Farbstoffes, denn bei stärkerer Concentration tritt gar zu leicht Anurie ein. Der mit dem Glaskatheter nach 2 Stunden entnommene Harn hat höchstens einen schwach bläulichen Schimmer und wird auf Zusatz von Eisenchlorid intensiv dunkelblau. Der Harn enthält also eine ganz beträchtliche

Menge Leukomethylenblau. Setzt man diese Injectionen weiter fort circa einen Tag, um wie bei Säurefuchsin eine allmähliche Ermüdung des Epithels und Anstauung des Farbstoffes zu erzielen, so ergibt die mikroskopische Untersuchung denselben Befund wie beim Säurefuchsin. Die dorsal gelegenen tubuli contorti enthalten die kleinen stark lichtbrechenden Körnchen (Secretvacuolen) in der Lumenseite der Epithelzellen. Bei Einstellung auf den Rand der Körnchen erscheinen diese schwach bläulich gefärbt, weil sich das Leukomethylenblau durch den Sauerstoff, welchen die Untersuchungsflüssigkeit (0,6% Cl Na) gelöst enthält, reoxydirt. — Ganz ähnlich verhielt sich eine Probe „Dahlia“, die ich sonst zur histologischen Tinction zu benutzen pflegte.

44. Meine Versuche mit Säurefuchsin über die chemische Topographie der Niere haben gezeigt, dass diese „zweiten“ Abschnitte der Harnkanälchen nicht bloss Farbstoffe, sondern auch Säure secerniren. Nun wird Methylenblau im Harn als reducirte Verbindung ausgeschieden; die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass es in denjenigen Abschnitten der Harnkanälchen sich vorfindet, welche als sauer reagirend erkannt wurden; hiernach müsse also die Reduction in saurer Lösung stattfinden.

45. Das Methylenblau habe ich deshalb zum allgemeinen Nachweis der Reduction und der Bestimmung ihres anatomischen Ortes, wo sie vorkommt, verwandt, weil es sowohl in alkalischer, wie saurer Lösung nur soweit reducirt wird, dass es immer wieder durch Berührung mit Luft u. s. w. als Farbstoff regenerirt wird, und so in jedem Falle seine Erkennung möglich ist. Nachdem somit die Reduction und auch der anatomische Ort dieses Processes sicher gestellt ist, spitzt sich die Frage dahin zu, ist es eine Reduction in saurer oder alkalischer Lösung? Der anatomische Befund lautete: in saurer Lösung, an der Stelle, wo das Säurefuchsin gefärbt ausgeschieden wurde.

46. Man braucht aber nicht einmal auf den anatomischen Befund sich zu verlassen. Man kann an bestimmten chemischen Eigenschaften des Harns nachweisen, dass die Reductionsproducte sich verhalten wie diejenigen, die man im Reagensglas bei der Reduction in saurer Lösung erhält. Zu diesem Zwecke stellte ich

Versuche an mit dem wasserlöslichen Indulin, welches gleichfalls zur Klasse der Azofarbstoffe gehört. In alkalischer Lösung durch Schwefelammonium wird es nur bis zur Hydrazoverbindung reducirt. Oxydationsmittel wie saure Eisenchoridlösungen, ferner Ferridcyankalium regeneriren die Farbe des in alkalischer Lösung gebildeten Reductionsproductes. Hat man dagegen den Farbstoff in saurer Lösung mit Zinkstaub und Salzsäure reducirt, so entsteht eine röthlich gefärbte Flüssigkeit aus der ursprünglich tief dunkelblauen Lösung; Eisenchlorid vermag jetzt die blaue Farbe nicht mehr zu regeneriren. Dagegen hat diese röthliche Lösung die Eigenschaft mit sehr starker Schwefelsäure zusammengebracht einen etwas intensiveren blauen Ton anzunehmen.

47. Der nach Indulininjection in die Lymphsäcke durch den Katheder entleerte Harn ist nur schwach röthlich gefärbt und wird durch Eisenchlorid nicht mehr blau; durch sein Verhalten gegen concentrirte Schwefelsäure, womit er deutlich ins Blaue übergeht, überzeugt man sich, dass der Harn auch wirklich ein Reductionsprodukt des Indulins enthält und zwar muss dieses auf Grund seiner Reactionen in saurer Lösung entstanden sein. Analoge Versuche mit Fuchsin, Methylviolett, Methylgrün ergaben sehr blass gefärbte Harnproben; da bei ihnen Eisenchlorid keine Farbe mehr regenerirte, war auch hier die Reduction über den Leukokörper hinaus vermuthlich bis zur Spaltung des Triphenylmethankerns in die componirten aromatischen Amide (Aniline, Toluidine und deren Alkylderivate) fortgeschritten. Controlversuche mit den Farbstoffen im Reagensrohr zeigten das mit dem Harn vollkommen übereinstimmende Verhalten der in saurer Lösung reducirten und entfärbten Flüssigkeiten gegen Eisenchlorid.

48. Zur Gegenprobe gab ich Farbstoffe, welche nur in alkalischer Lösung reducirt werden, wie Phenolphthalein, Alizarin, Fluorescein (Resorcinphthalein); selbst in absichtlich kleinen Mengen gegeben, wurden sie ohne Reduction ausgeschieden und waren ohne weiteres durch ihre specifischen Reactionen zu erkennen.

49. Eine weitere Eigenthümlichkeit der Niere in Bezug auf Reductionsvorgänge besteht darin, dass, während Fuchsin, Methylviolett und Metylgrün eine offenbar sehr weitgehende Reduction er-

litten haben mussten, die Sulfosäuren der Farbstoffe ohne eine Reduction zu erleiden die Nieren passirten; besonders reichlich war die Ausscheidung des Säurefuchsins, nächstdem die des Säuregrüns, während das Säureviolett sehr diluirt ausgeschieden wurde. Der Einfluss des Eintritts der Sulfosäuregruppe in das Molekül des Farbstoffs ist die Ursache, dass die betreffenden Substanzen vor der Reduction geschützt waren. Den chemischen Grund dieses eigenthümlichen Verhältnisses vermag ich nicht anzugeben; als Analogon kann ich nur die Beobachtung von Baumann und Herter citiren, dass das Phenol, wenn es die Sulfogruppe ins Molekül aufgenommen und als paraphenolsulfosaures Natrium einverleibt wird, im Harn unverändert wiedererscheint[1]). Im Reagensglas wenigstens werden die Sulfosäuren der Farbstoffe in saurer Lösung durch Zinkstaub und Salzsäure oder Essigsäure ebenso gut reducirt wie die Farbbasen selbst.

50. Das Indigocarmin ist das Natriumsalz der Disulfosäure des Indigofarbstoffes. Nach der von Baeyer ermittelten Structurformel hat das Indigo eine chinonartige Gruppe zum Chromophor. Nun werden aber Chinonfarbstoffe wie Alizarin, wie früher angeführt, nicht reducirt; ausserdem mögen auch die Sulfogruppen den Indigocarmin vor Reduction schützen. Die Farblosigkeit der Indigocarminniere beim Frosch beruht also unmöglich auf Reduction; die Annahme, der im Harn absorbirte Sauerstoff (0,07 Vol.-%) bewirke Reoxydation, müsste auch für Methylenblau gelten, denn dessen Reductionsproduct wird beim Schütteln mit Luft ebenso gut wieder blau wie reducirtes Indigocarmin. Die Sulfosäure des Alizarins, der „Alizarincarmin" wird ebenfalls ohne Reduction ausgeschieden.

51. Es gibt indessen auch Azofarbstoffe, welche die Nieren passiren ohne eine Reduction zu erleiden, so z. B. das Bordeaux, welches Naphthalinazo-β-naptholdisulfosäure ist. Das wasserlösliche Indulin enthält zwar auch zwei Sulfogruppen, wird aber nichtsdestoweniger stark reducirt. Der Einfluss der Sulfogruppe, die Moleküle vor Veränderung zu schützen, stellt also kein allgemein durchgreifendes

1) E. Baumann und E. Herter: Ueber die Synthese von Aetherschwefelsäure und das Verhalten einiger aromatischer Substanzen im Thierkörper. Zeitschrift f. physiolog. Chemie Bd. 1 S. 253.

Gesetz dar, sondern muss jedesmal speciell für die einander nahestehenden Substanzen ermittelt werden[1]).

52. Aus dem Vorstehenden ergab sich, dass sowohl histologische wie chemische Gründe dafür sprechen, dass die Reduction in saurer Lösung geschehen muss. Wäre einfach nur das Factum der Ausscheidung von Reductionsproducten bekannt, nicht die Modalität des Vorgangs (in saurer Lösung), so könnte man annehmen, in Blut und Lymphe habe vielleicht schon eine Reduction stattgefunden (allerdings dann nur in alkalischer Lösung); die Niere finge den reducirten Körper daraus auf etwa gerade so wie den Harnstoff, der sich in der Leber gebildet hat. Um zu entscheiden, ob schon innerhalb der Blutbahn Reduction stattfindet, wurde einem Kaninchen Methylenblau in eine Vene injicirt, das Blut nach ungefähr einer halben Stunde in Alkohol aufgefangen, worin das Leukomethylenblau löslich ist. Das alkoholische Filtrat hatte in Folge des zugleich gegenwärtigen gelben Serumfarbstoffes eine dunkelgrüne Farbe; beim Schütteln mit Luft oder Eisenchlorid wurde die Farbenintensität nicht merkbar tiefer blau. Erhebliche Mengen reducirten Farbstoffs waren somit nicht vorhanden.

53. Der Harn der Kaninchen war von abnormer grüngelblicher Farbe, durch saures Eisenchlorid wurde er aber nicht blau.

54. Ein ganz eigenthümliches Verhalten zeigten aber die Nieren eines solchen Kaninchens oder Meerschweinchens. Frisch nach dem Tode herausgenommen sind die Durchschnitte sowohl mikroskopisch wie makroskopisch farblos wie bei jedem andern Kaninchen. Weder Eisenchlorid noch Lufteinwirkung vermögen die blaue Farbe kenntlich zu machen. Lässt man die Nieren aber 3—4 Stunden liegen (im Eiskasten oder uneröffneten Thier selbst), dann werden die Schnittflächen, die gleich nach dem Tode gar nicht auf Sauerstoff reagirten, binnen einer halben bis ganzen Minute blau, die Pyramide nur schwach blau, dagegen tief blau die Rinde. Die mikroskopische Untersuchung von mit dem Gefriermikrotom angefertigten Schnitten

1) Die Orts- oder Stellungsisomerie, welche für die Paarung der drei Oxybenzoësäuren (ob mit Glykokoll oder Schwefelsäure) so bestimmend ist, mag vielleicht auch der Grund für das Verhalten der Sulfosäurederivate der Farbstoffe sein, dass bei einem Farbstoff die Reduction ausbleibt, beim andern nicht.

ergab farblose Kapseln, die tubuli contorti enthielten zahlreiche hellblaue Körnchen, wie beim Frosch.

55. Offenbar hat beim Kaninchen im Gegensatz zum Frosch gleichzeitig mit der Reduction der Azogruppe die Bildung eines Paarlings stattgefunden; da die Reoxydation durch Luft oder Eisenchlorid bei der frischen Kaninchenniere nicht gelingt, muss der chemische Ort, an welchem das Oxydationsmittel sonst angreift, durch den Paarlingskörper occupirt sein[1]). Der Umstand, dass die Niere einige Stunden nach dem Tode an der Luft blau wird, beweist, dass das früher dagewesene Hinderniss nicht mehr vorliegt. Wir verdanken nun den Arbeiten Schmiedeberg's die Thatsache, dass besonders in ausgeschnittenen Organen sich ein ungeformtes Ferment entwickelt, das Histozym, welches unter anderem auch die Eigenschaft besitzt, die schon gebildete Hippursäure wieder zu spalten. Bei meinen Versuchen an Kaninchen und Meerschweinchen bildete sich das Enzym offenbar spontan innerhalb weniger Stunden in dem absterbenden Organ und spaltete den Leukomethylenblaupaarling. Bei der Berührung mit Luft reoxydirte sich alsbald der nun frei gewordene Leukokörper. In dem absterbenden Gewebe bildet sich ausserdem so viel reducirende Substanz, dass bei erneuter Abschneidung des Sauerstoffes durch Aufeinanderlagern der Schnittflächen diese binnen ca. 15 Minuten von neuem entfärbt werden; nach dem Auseinanderklappen werden sie alsbald wieder blau. Dieser Versuch lässt sich mehrmals hinter einander anstellen, wobei, wie der Augenschein zeigt, das Methylenblau in der deutlichsten Weise als Sauerstoffüberträger dient; es mit dem Hämoglobin zu vergleichen liegt sehr nahe.

56. Die Kaninchenversuche bestätigen also das Ergebniss: Keine Blutreduction, sondern Reduction im Gewebe selbst. Die Umwandlung eines Earbstoffes in seinen Leukokörper ist somit der sichtbare Ausdruck für die Energie, mit welcher sich die Gewebeathmung vollzieht.

---

1) Da die entscheidende Stelle die Hydrazogruppe R—N(SH)—N(H)—R ist, so steht nach Analogie andrer Paarlinge, bei welchen Bindung an ein N-Atom erfolgt, die Paarung mit dem Carbaminsäurerest zu erwarten, also ein „Uramidokörper" des Leukomethylenblaus.

57. Cl. Bernard hat bei der Niere während stärkerer Absonderung das Blut der Nierenvene gleich den der Speicheldrüsenvenen bei Chordareizung hellroth werden sehen, als Zeichen für die gesteigerten Lebensprocesse und den grösseren Sauerstoffverbrauch der Drüse.

58. Bei der Niere documentirt er sich ausserdem an dem Secret, denn die Farbstoffe, wie Methylenblau und andere, müssen durch die secretorische Zelle hindurchgehen. Die Reduction zum Hydrazokörper bedeutet aber noch nicht einmal eine directe Sauerstoffentnahme, sondern nur eine mittelbare, indem nämlich H_2 von den Elementen des Wassers zur Reduction Anlass gibt, während das Sauerstoffatom vom Protoplasma selbst unter Bildung von Kohlensäure in Beschlag genommen wird. Der im Harn auftretende Leukokörper ist ein chemischer Zeuge für den Heisshunger der thätigen Drüsenzelle nach Sauerstoff. Dies wenigstens ist der Gesichtspunkt, von dem aus das Factum einer solchen Reduction verständlich wird.

59. Zum Schluss möchte ich noch die hohe Empfindlichkeit des Glomerulusepithels gegen stärkere Concentrationen dieser Farbstofflösungen (5—10%) erwähnen. In dieser Stärke bewirken sie nämlich sehr leicht Anurie und als pathologischen Befund ergibt die mikroskopische Untersuchung auffallend viel Leukocyten zwischen den Glomerulusschlingen und gar nicht selten sind Ablagerungen von Farbstoffkörnchen im Kapselraum zu sehen. So fand ich z. B. bei fortgesetzen, stärkeren Induliniujectionen, die Anurie und Coma zur Folge hatten, die Hauptmenge des blauen Farbstoffes in den Kapseln. Bei Methylenblau kann man durch forcirte Injectionen starker Lösungen gleichfalls Anurie und Ausscheidung in den Kapseln herbeiführen. Das körnige Pigment füllt den Kapselraum in Form von blauen granulirten Halbmöndchen. An andern Knäueln liegt es auch zwischen dem Glomerulusschlingen, welche mit Blutkörperchen vollgepfropft sind.

60. Es ist aber nicht etwa eine specifische etwa für das Glomerulusepithel besonders deletäre Nebenwirkung der angewandten Farbstoffe, sondern grösstentheils die hohe Empfindlichkeit dieser Epithelbekleidung gegen Erhöhung der Concentration des Blutes wie folgender Versuch beweist:

61. Ein grosser Frosch bekommt 6 ccm einer 10% ClNa-Lösung im Verlauf von 6 Stunden in den Dorsallymphsack injicirt, schon nach der zweiten Injection ist die Blase völlig leer. Der Frosch wird nun in Wasser gesetzt, um die Wassersecretion in den Harn zu vermehren, es werden aber nur minimale Quantitäten von Harn in die Blase secernirt, während 10 Stunden höchstens 1 ccm, während sich zugleich die Lymphsäcke sehr stark mit Lymphe, welche durch zahlreiche rothe Blutkörperchen geröthet ist, füllen und der Frosch ein hydropisches Aussehen bekommt. Allmählich, d. h. ca. 8 Stunden nach der letzten ClNa-Injection begann sich die Harnwasserausscheidung langsam aber continuirlich zu vermehren.

62. Der Umstand, dass, wenn man sich mit den Farbstoffinjectionen innerhalb der physiologischen Breite hält, die Glomeruli und Kapseln frei von Farbstoff bleiben, scheint mir nur mit Hilfe der M. Traube'schen Membrantheorie [1]) erklärlich. Aus seinen Versuchen mit seinen „Niederschlagsmembranen“ gelangte Traube zur Aufstellung folgenden höchst interessanten Gesetzes: die Niederschlagsmembranen sind impermeabel nicht nur für ihre Membranbildner, sondern überhaupt für alle Körper, deren Molekül grösser ist als die Molecularinterstitien der Membran. Sind die beiden Membranogene von ungleicher Grösse, so vermag das kleinere von ihnen nicht die Molecularinterstitien zu passiren; es stellt somit die obere Grenze der Molekülgrössen dar, welche durch Diffusion die Membran zu passiren vermögen.

63. Das Glomerulusepithel scheint nun ebenso eine in physikalischem Sinne äusserst regelmässig gebaute Membran zu sein. Diese Regelmässigkeit in der physikalischen Structur hängt aber offenbar sehr eng zusammen mit einer normalen Circulation, mit einer normalen Concentration und einem normalen Cohäsionsgrad der Bluttheilchen zu einander, wie dies Grützner nachgewiesen hat. In dieser Filtrationsmembran, der Epithellage des Glomerulus, würde unter normalen Verhältnissen der eine von solchen Membranbildnern ein kleineres Molecularvolumen haben müssen als die Farbstoffe, welche physiologischer Weise nicht einmal spurweise

1) Du Bois-Reymond, Archiv 1867 S. 107 ff.

durchzutreten vermögen. Schon geringfügige Aenderungen der Lebensbedingungen dieses Epithelüberzugs bewirken Störungen seines physikalischen Baues, von welchen andere Gewebssysteme nicht tangirt werden.

64. Die auffallende Thatsache, dass das Glomerulusepithel im gesunden Zustand nur eine solche theilweise Permeabilität besitzt, findet eine klare physikalische Erklärung, sobald man sich auf den Boden der Traube'schen Membrantheorie stellt, während man ohne diese sich mit der Annahme begnügen muss, der Vitalismus dieser Epithelzellen sei die Ursache davon, dass sie die Farbstoffe nicht passiren liessen. Auserdem bietet die Traube'sche Theorie für weitere Experimentalversuche bestimmte Anhaltspunkte, die vitalistische Annahme dagegen ist unfruchtbar. — Vor Jahren hat bereits Brücke das Fehlen des Albumins im Harn des Gesunden erklärt durch die Annahme einer solchen theilweisen Permeabilität des Epithelüberzugs der Knäuel nur für Krystalloide, während die Colloide zurückgehalten würden.

Nachträgliche Anmerkung. Nachdem ich die Correctur dieser Arbeit an die Druckerei zurückgesandt hatte, bekam ich von meinem geehrten Chef, Herrn Geheimerath Heidenhain, Kenntniss eines von Prof. Ehrlich erst jüngst herausgegebenen Buches über den Sauerstoffverbrauch im Organismus, worin derselbe eine sehr complicirte Hypothese bezüglich der Drüsen aufstellt. Er unterscheidet nach einer eigenthümlichen Anordnung von Para- und Protoplasma „drei- und vierflächige“ Drüsen. Da das von ihm benutzte Alizarinblau ohne Reduction ausgeschieden wird, stellt er die Niere als Typus seiner „vierflächigen Drüsen“ auf. Meine obigen Versuche mit Methylenblau und Indulin haben dem entgegen gezeigt, dass die Niere reducirtes Secret liefert und dass dies aus saurer Lösung stammt. Alizarinblau, Cörulein sind Chinonfarbstoffe und um den Chromophor Chinon in den Leukokörper überzuführen ist beim Alizarin (Dioxyanthrachinon) die Reduction mit Zinn in alkalischer Lösung erforderlich, um das Tetrahydroxylanthracen als Leukokörper zu erhalten. Unter Berücksichtigung dieser chemischen Eigenthümlichkeiten habe ich oben § 48 eine einfache, natürliche Erklärung dafür gegeben, dass solche Körper intact bleiben bei ihrem Durchgang durch die Niere, weil sie bloss in alkalischer Lösung reducirt werden, wie letzteres auch in den chemischen Lehrbüchern nachgesehen werden kann.

H. D.

Ueber die Verwerthung der Cellulose im thierischen Organismus.[1])

Von

Dr. Woldemar v. Knieriem,

Professor der Landwirthschaft am Polytechnikum zu Riga.

Unter Rohfaser versteht man bekanntlich den nach dem Behandeln pflanzlicher Futterstoffe mit verdünnter Schwefelsäure und verdünnter Kalilauge mit Aetheralkohol erschöpften Rest. Dieselbe ist, wie der Name es schon andeuten soll, kein chemisches Individuum: ein je nach dem Alter und der Abstammung der Muttersubstanz wechselndes Gemenge von Cellulose und incrustirenden und cuticularisirenden Substanzen. So ist es auch natürlich, dass sowohl die Elementarzusammensetzung, als auch die Verdaulichkeit für bestimmte Thierspecies eine in ziemlich weiten Grenzen schwankende ist. Trotz diesen eine correcte Behandlung der Frage erschwerenden Umständen, habe ich es unternommen, die Ausnutzung verschiedener Rohfaser bei verschiedenen Thierspecies einer erneuten Bearbeitung zu unterziehen. Einestheils, weil namentlich bei Menschen und Fleischfressern wenig Versuche nur vorlagen, und weil ich bei Pflanzenfressern die Versuche in anderer Weise, als bisher geschehen, ausführen wollte. Leider konnte ich zu meinen Versuchen von den Pflanzenfressern nur Kaninchen benutzen, ein Versuch an Schafen scheiterte, wie ich dieses später auszuführen gedenke.

Nachdem im Jahre 1855[2]) Haubner zuerst die Verdaulichkeit der Rohfaser für das Rind nachgewiesen hatte, sind allerdings sehr viele Versuche in derselben Richtung angestellt, es wurden

1) Diese Abhandlung ist als Festschrift zur Feier des 50jährigen Bestehens der Universität Kiew gedruckt worden, aber nur in wenigen Exemplaren zur Vertheilung gelangt.

2) Zeitschr. f. Landwirthschaft 1855 S. 177.

aber alle diese Versuche in der Art ausgeführt, dass man aus der Differenz der Einnahmen und Ausgaben im Koth die verdaute Menge berechnete.

Diese Art der Bestimmung ist natülich nur richtig unter der Voraussetzung, dass die im Verdauungsapparate bei ein und demselben Futter restirende Menge nahezu immer dieselbe in Qualität und Quantität bleibt. Wenn nun die Verdaulichkeit eines Futters bestimmt werden soll, welches wie Heu das Thier längere Zeit normal zu ernähren vermag, so ist die obige Voraussetzung gewiss gerechtfertigt und man wird gegen die Richtigkeit der so erzielten Resultate keine Einwände erheben können, wenn die Versuchszeit keine zu kurze gewesen ist. Soll aber die Verdaulichkeit eines nur kurze Zeit gereichten Beifutters bestimmt werden, so wird die Berechnung der Resultate schon weniger genau ausfallen, besonders, wenn man bedenkt, dass die Kothmassen bei den Pflanzenfressern und namentlich den Wiederkäuern sich nicht so gleichmässig fortschieben, wie die Nahrungsaufnahme stattgefunden hat.

Der Hauptgrund, der mich bewog, die Versuche in anderer Art anzustellen, war aber der, gleichzeitig mit Verdauungsversuchen die Nährwirkung der Rohfaser zu ermitteln und dieses war natürlich nur möglich bei einseitiger Vermehrung der Rohfasergabe und bei genauer Kenntniss der jeweilig im Darm sich befindenden Rohfasermenge.

Es musste sich daher die Versuchsanstellung ziemlich einfach gestalten, wenn es gelingen konnte, den Darm vollständig von Rohfaser zu befreien.

Bei Thieren, die einen kurzen Darm besitzen, ist dieses bekanntlich nicht schwer. Menschen, Hunde, Katzen 6—7 Tage mit vollständig rohfaserfreiem Futter ernährt, haben alle von früherer Nahrung etwa enthaltene Rohfaser vollständig entleert, wie dieses später zu besprechende Versuche zeigen sollen. Und es ist möglich, entspricht sogar mehr der natürlichen Nahrung, die Fleischfresser lange Zeit mit einem Futter zu ernähren, welches gänzlich rohfaserfrei ist. Anders dagegen bei Thieren, die einen längeren Darm, wie die Pflanzenfresser besitzen. Hier ist die Rohfaser immer der Quantität nach vorherrschend, sie ist es, die den Futterstoffen das

nöthige Volumen gibt, ohne welches bei den Wiederkäuern der Process des Wiederkäuens nicht zu Stande kommen kann und ohne welche, wie wir später sehen werden, die Pflanzenfresser bald zu Grunde gehen. Nach längeren Versuchen bin ich denn auf eine Methode verfallen, die bei Kaninchen angewandt, das erwünschte Resultat gab: „Die Befreiung des ganzen Verdauungskanals von Rohfaser bei normalem Körperzustand.“

Es musste sich darum handeln, einen Stoff zu ermitteln, der in mechanischer Hinsicht die Rolle der Rohfaser im Verdauungscanale zu übernehmen im Stande ist, sich auf chemischem Wege von der zugeführten Rohfaser leicht trennen lässt und von den Versuchsthieren willig aufgenommen wird. Einen solchen Stoff fand ich in den Hornspänen, wobei mir noch der Umstand zu statten kam, dass die Hornspäne, wie ich mich durch eigens dazu angestellte Versuche überzeugte, im Organismus keine weitere chemische Veränderung erleiden. Dadurch war ich im Stande, den Eiweissumsatz im Körper der Versuchsthiere genau zu controliren.

Ehe ich nun diese Versuche mittheile, will ich einiges über die Untersuchungsmethoden und die Versuche, betreffend die Verdaulichkeit der Rohfaser im Organismus des Menschen, der Hühner und des Hundes, vorherschicken.

Die Rohfaserbestimmungen wurden sämmtlich nach der Henneberg'schen Methode ausgeführt, ebenso wie die in den weiteren Versuchen verfütterte Rohfaser nach Henneberg dargestellt war. Bevor ich mich zu dieser Methode entschloss, wurden eine Reihe von Controlbestimmungen unter Zusatz von Fleisch, Knochen, Hornspänen gemacht und auch die anderen Methoden, namentlich die von Schulze und die kürzlich von Müller[1]) empfohlene auf ihre Zuverlässigkeit geprüft. Nachstehend mögen einige dieser Controlbestimmungen mitgetheilt sein. Sämmtliche Substanzen waren gemahlen und durch ein Sieb von 0,5^{mm} Lochweite gesiebt; sie kamen lufttrocken zur Verwendung.

---

1) Nach dem Centralblatt f. Agriculturchemie 1877 Bd. 11 S. 273.

Rohfasergehalt.

	Henneberg	Schulze	Müller
Filtrirpapier	89,13	90,7	91,2
Kartoffelpulver	2,196 2,136	2,173 2,29	3,175 und 3,575
Rettigpulver	14,37	14,61	17,83
Hasenkoth	31,33	32,54	45,78

Schon aus diesen wenigen Angaben ist zu ersehen, dass die beiden ersten Methoden im Grossen und Ganzen ziemlich gleiche Resultate ergeben, während die von Müller empfohlene sich zur Bestimmung der Rohfaser gar nicht eignet. Sie gibt erstens bei Stoffen, aus denen die Rohfaser schwer abzuscheiden ist, viel zu hohe Zahlen und ferner ist sie, nach den von mir gemachten Beobachtungen viel zeitraubender, als die übrigen Methoden. Die Schulze'sche Bestimmungsmethode, wenn sie für die gewöhnlichen Futtermaterialien und Pflanzenfresserkoth gewiss auch anwendbar ist, war für mich insofern nicht brauchbar, als die Hornspäne beim Kaninchenkoth sowie die Harnsäure bei den Excrementen der Hühner die Bestimmung der Rohfaser ungeheuer erschweren. Beim Behandeln mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure in den angegebenen Verhältnissen lösen sich diese beiden Stoffe bekanntlich nicht, und es mussten viel grössere Mengen von Ammoniak zum nachherigen Behandeln genommen werden. Das Filtriren der ammoniakalischen Lösung ging sehr schwer von statten. Daher wählte ich die Henneberg'sche Methode, die auch unter diesen Verhältnissen, wie nachstehende Bestimmungen zeigen, sehr gute Resultate ergab, nur musste auf eine möglichst feine Pulverung der zur Analyse vorbereiteten Substanz grosses Gewicht gelegt werden. Es wurde in zwei Proben desselben Graspulvers die Rohfaser bestimmt; mit der Probe II wurden 9^g feinzerhacktes Muskelfleisch und 5^g Hornspäne innig vermischt.

I. 3,0815^g Graspulver gaben 0,5932^g asche- und proteïnfreier Rohfaser = 19,20 %.

II. 3,0824^g Graspulver gaben 0,5962^g asche- und proteïnfreier Rohfaser = 19,34 %.

Weitere Bestätigung für die Brauchbarkeit der Henneberg'schen Methode ergeben sich im Laufe der Untersuchungen.

In dem mit Knochen vermischten Hundekoth wurde die feingepulverte Substanz, statt mit Schwefelsäure, mit Salzsäure behandelt. Der Hühnerkoth wurde erst mit 1¼ % Natronlauge, dann mit 1¼ % Schwefelsäure und dann wieder mit verdünnter Kalilauge behandelt. Eine wesentliche Erleichterung und Zeitersparniss verschaffte ich mir durch Anwendung der Centrifuge bei der Rohfaserbestimmung.

Bei halbstündigem Centrifugiren (800—1500 Umdrehungen in der Minute) setzten sich die eben aufgekochten, unlöslichen Substanzen meist sehr schön am Boden ab, so dass die überstehende Flüssigkeit abgegossen werden konnte; es war auf diese Weise möglich, im Laufe von 7 Stunden die Rohfaser so weit zu isoliren, dass sie mit Alkohol und Aether auf dem gewogenen Filter behandelt werden konnte. Von besonderem Werthe für diese Art der Rohfaserisolirung war mir ferner der Umstand, dass die in Säuren oder Alkalien unlöslichen Substanzen aus der noch warmen Lösung abgeschieden werden konnten, weil die alkalische Lösung, wenn viel Hornspäne und leimartige Körper vorhanden waren, wie dies bei den mit Fleischmehl gefütterten Kaninchen der Fall war, nach dem Erkalten gelatinirte. Hier wäre eine Isolirung anders, als durch die Centrifuge kaum möglich gewesen. Die nach dem Centrifugiren abgegossenen sauren und alkalischen Lösungen wurden getrennt aufbewahrt und noch einmal centrifugirt. Meist war aber der dann noch gewonnene unlösliche Rückstand kaum wägbar. In der gewonnenen Rohfaser wurde selbstverständlich der Asche- und Stickstoffgehalt jedesmal bestimmt, die für den Stickstoff gefundene Zahl mit dem Factor 6,25 multiplicirt, als Eiweiss in Abzug gebracht.

Da die Rohfaser, je nach ihrer physikalischen Structur und Abstammung verschiedene Grade der Verdaulichkeit zeigt, so wurde, um diese Verhältnisse klar zu legen, mit den verschiedensten Rohfaserarten operirt.

Versuche an Menschen.

Es liegen bis jetzt nur zwei Versuchsreihen von Weiske über die Verdaulichkeit der Rohfaser beim Menschen vor[1]), wobei derselbe zu dem Resultate gelangte, dass auch der Mensch in beträchtlicher Menge (47,3 — 62,7 %) Rohfaser und zwar Cellulose zu verdauen im Stande sei. Der Gang des folgenden Versuches war derselbe, wie Weiske ihn gewählt hatte, nur dauerte die Vor- und Nachperiode mit rein animalischer Nahrung längere Zeit (7 — 9 Tage) und wurde zur Zeit nur immer eine Rohfaserart verabfolgt. Als Repräsentant der verhärteten Rohfaser wurde die Wurzel der Scorzonera hispanica, als Repräsentant der zarten Rohfaser die Blätter des Kopfsalats, Lactuca sativa benutzt. Die Versuche stellte ich an mir selbst an. Vom 2. bis 10. Mai 1877 diente als Nahrung nur Milch, Käse, Fleisch[2]), Eier, filtrirter Kaffee und Bier in mässigen Quantitäten. Am 10. Mai war der Verdauungskanal von früher genossener Rohfaser soweit befreit, dass die als Gemüse zubereitete Scorzonera in zwei Portionen aufgenommen werden konnte: Die 371 g Scorzonera enthielten im Mittel zweier gut übereinstimmender Analysen 3,3675 g Rohfaser. Die näheren Daten über den Verlauf des Versuchs gibt die Tabelle auf S. 74 und 75.

Es waren demnach bis zum 18. Mai 3,2196 g Rohfaser ausgeschieden und konnte nach den vorliegenden Zahlen wohl angenommen werden, dass der Verdauungskanal wieder rohfaserfrei geworden war. Verdaut waren also 4,4 %, eine beinahe in die Grenzen der Versuchsfehler fallende Zahl. Jedenfalls folgt aus diesem Versuch, dass die schon ziemlich verhärtete Rohfaser der Scorzonera zu einem sehr geringen Theil in dem Verdauungskanal des menschlichen Organismus angegriffen wird.

Ein anderes Resultat erhielt ich, wie die Tabelle zeigt, bei dem Genuss von zarter Rohfaser in Form von Kopfsalat. Es wurden möglichst junge Blätter ausgesucht, von den Mittelrippen befreit und in rohem Zustande mit etwas Salz an zwei Tagen 310 g der-

---

1) Zeitschr. f. Biologie 1870 S. 456.

2) Bei gebratenem Fleisch wurde die angebrannte äussere Schichte immer sorgfältig entfernt.

selben verzehrt und zwar in drei Portionen, da mehr als 120g kaum auf einmal bewältigt werden konnten. Die 310g Salatblätter erhielten 1,263g Rohfaser. Bis zum 28. Mai, wo der Verdauungskanal wieder rohfaserfrei war, waren 0,9433g wieder ausgeschieden, also 25,32 % verdaut. Auch hier wurde eine bedeutend geringere Menge Rohfaser verdaut, als Weiske in seinen Versuchen gefunden hat. Eine Erklärung hierfür zu geben, ist mir nicht möglich. An der kürzeren Versuchsdauer bei Weiske kann die Verschiedenheit des Resultats nicht liegen, denn in 3 Tagen nach der Rohfasergabe waren auch bei mir beide Male schon 96 % der überhaupt ausgeschiedenen Rohfaser im Koth nachweisbar. Möglich, dass die Rohfaser der von Weiske angewandten Gemüsearten weniger resistent gegen die Verdauungssecrete oder andere Agentien der Lösung [1]) sind. Jedenfalls ist doch dieser Versuch ein Beweis für die verschiedene Angreifbarkeit der Rohfaser, je nach ihrer Abstammung und ihrem Alter.

An 3 Tagen, den 17., 20. und 27. Mai bestimmte ich ausserdem die Stickstoff- und Ammoniakmengen im Harn und Koth, um einer von mir früher ausgeführten Hypothese (Zeitschr. f. Biologie Bd. 13 S. 69) eine weitere Stütze zu geben. Ich hatte damals die Ansicht ausgesprochen, dass der Umstand, dass der Hühnerorganismus nicht im Stande sei, Ammoniak weiter in Harnstoff, resp. Harnsäure überzuführen, es zur Folge habe, dass die Hühner relativ viel bedeutendere Ammoniakmengen ausscheiden. Damals fehlten mir Angaben über die in den festen Excrementen des Hundes und des Menschen enthaltenen Ammoniakmengen. Dieselben sind beim Menschen, wie die vorliegende Tabelle zeigt, so gering, dass dadurch die Verhältnisszahl zwischen Stickstoff- und Ammoniakausscheidung nicht wesentlich grösser wird. Im Mittel der drei dort für den Menschen angegebenen Zahlen war auf 1g Stickstoff 0,0408g Ammoniak ausgeschieden, mit Berücksichtigung der im Koth gefundenen Ammoniakmenge schied ich bei reiner, oder vorwiegend animalischer Nahrung auf 1g Stickstoff 0,0527g Ammoniak aus; wenn ich den

1) Vgl. die später zu besprechende Arbeit von H. Tappeiner, Zeitschr. f. Biologie 1884 S. 52.

Datum	Nahrung	Darin Rohfaser	Kothmengen in gr	Darin Rohfaser	Summe d. ausgeschiedenen Rohfaser	Stickstoff im Koth	Ammoniak im Koth	Harnmenge in ccm	Stickstoff im Harn in gr	Ammoniak im Harn in gr	Auf 1 gr Stickstoff Ammoniak in den Ausscheidungen
2.—6. Mai	Milch, Fleisch, Käse, filtrirter Kaffee u. Bier	0	399								
7.	do.	0	290	0,138							
8.	do.	0	32 g = 9,7 g Trockensubst. u. 69,69 % H_2O	0,0013			0,05428				
9.	do.	0	45	0,0117							
10.	do.	0	34	0,001							
11.	do. + 371 g Scorzonera	3,3675	150 g (82,2 % H_2O)	1,2803		1,7802	0,1562				
12.	Milch, Fleisch, Käse, Bier, Kaffee	0	59 g (76,8 % H_2O)	1,0648							
13.	do.	0	88 g (76,48 % H_2O)	0,7441							
14.	do.	0	104 g (76,1 % H_2O)	0,0444							
15.	do.	0	49 g (73 % H_2O)	0,0857							

16.	do.	0	42 g (68,3 % H_2O)	0,0357							
17.	do.	0	44 g (70,23 % H_2O)	0,0134		0,8006	0,0619	1420	20,95	1,007	0,049
18.	do.	0	53	0,0012	3,2196						
19.	do. + 240 g Salat	0,978	20	0,0155							
20.	do. + 70 g Salat	0,285	117 g (75,71 % H_2O)	0,6926		1,6388	0,1501	1560	21,06	1,03584	0,0522
21.	Milch, Fleisch, Käse, Bier, Kaffee	0	20	0,1220							
22.	do.	0	10 } 74,36 % H_2O			} 2,7047	} 0,2208				
23.	do.	0	0 }	0,0782		}	}				
24.	Viel Milch	0	150 }			}	}				
25.	do.	0	80	0,0154							
26.	do.	0	70	0,0156							
27.	do.	0	100	0,004	0,9433	1,4366	0,1635	1400	20,8516	1,1025	0,0568

Ammoniakgehalt des Kothes ausser Acht lasse, so berechnet sich die Verhältnisszahl zu 0,047.

Unterdessen ist namentlich durch die Arbeiten von Dr. W. Schröder (Zeitschr. f. physiol. Chemie) gezeigt, dass kohlensaures Ammoniak im Körper der Hühner in Harnsäure übergeführt wird.

Versuche an Hühnern.

Ich hatte meine Versuche an Hühnern schon vollendet, als Weiske[1]) seine Arbeit über die Ausnutzung von Rohfaser durch Gänse veröffentlichte. Das Resultat, zu dem ich gelangte, war dasselbe, nämlich, dass die Vögel nicht im Stande sind, die Rohfaser zu verdauen. Durch längere Zeit hindurch anhaltende Fleisch- und Milchgabe wurde der Verdauungsapparat der Versuchsthiere von Rohfaser befreit und dann eine bestimmte Menge Rohfaser in Form von chemisch reiner aschefreier Watte, Papier, Roggenstroh und Schnittkohl gegeben.

Am 2. April wurde ein Huhn in einen Käfig gestellt, wie ich dieselben schon früher benutzt hatte, und von da an täglich mit 100^{g} Fleisch und 40^{ccm} Milch gefüttert. Am 12. April war der Verdauungskanal rohfaserfrei. Da ich aber denselben auch soviel als möglich von Steinen befreien wollte, so liess ich das Thier bis zum 23. April bei derselben Nahrung. Dann wurden $1,2449^{g}$ chemisch reiner aschefreier trockner Watte gegeben. Am 27. April wurde das Thier geschlachtet und die im Kropf, Magen und Darm noch enthaltene Rohfaser isolirt. Im Ganzen wurden $1,2880^{g}$ Rohfaser wiedergefunden; es war also nichts verdaut. Dasselbe Resultat erhielt ich bei Fütterung von gereinigtem und gesiebtem Filtrirpapier. Am 10. Juni 1877 bekam ein rohfaserfreies Huhn $1,8851^{g}$ aschefreier Rohfaser, bis zum 16. Juni waren $1,9045^{g}$ ausgeschieden, also nichts verdaut.

Ebenso wurde weder die Rohfaser des Roggenstrohes, noch die des Schnittkohls, wie die folgenden Tabellen zeigen, verdaut:

---

1) Landwirthschaftliche Versuchsstation 1878 Bd. 21 S. 411—421.

Wattefütterung.

Datum	Futter	Harn und Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
1877 2. April	100g Fleisch, 40ccm Milch	118g	0,1442	
3.	do. do.	107	0,1442	
4.—11.	do. do.	905	0,5675	
12.	do. do.	101	0	
13.	do. do.	107	0	
14.	do. do.	110	0	
15.—22.	do. do.	920	0	
23.	1,2449g Watte, Fleisch, Milch	295	0,0625	
24.	100g Fleisch, 40g Milch	168	0,5635	
25.	do. do.	150	0,6275	
26.	100g Fleisch, 80g Milch	206	0,0235	1830g Körpergewicht
27.	do. do.		0,0110	im Kropf, Magen und Darminhalt
			1,2880	Rohfaser wiedergef., nichts verdaut.

Papierfütterung.

Datum	Futter	Harn und Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
Mai 20. — 31.	100g Fleisch, 80g Milch	1430g		
Juni 1. — 8.	do. do.	1236	0,0095	
9.	do. do.	133	0	
10.	do. do. + 1,8851g Papier	133	0,8793	
11.	100g Fleisch, 80g Milch	139	0,3885	
12.	do. do.	134	0,3450	
13.	do. do.	134	0,2710	
14.	do. do.	131	0,0143	
15.	do. do.	127	0,0060	
16.	do. do.	134	0,0004	
			1,9045	

Roggenstrohfütterung.

Datum	Futter	Rohfaser im Koth
17. — 28. Januar	1768g Fleisch	0
29. Januar bis zum 8. Febr.	do.	0
9. Februar	3,938g Roggenstroh enthaltend: 1,185g Rohfaser	
10. "	Fleisch, Milch	1,1843
11. "	do.	
12. — 15. Februar	do.	0,0459
	Summa Rohfaser im Koth:	1,2302

Schnittkohlfütterung.

Datum	Futter	Harn und Koth	Rohfaser im Koth
29. Januar bis zum 8. Februar	1360g Fleisch		0
9. Februar	Fleisch, 10,891g Schnittkohlmehl 1) enthaltend: 1,4896g Rohfaser		
10. "		160	1,4250
11. "			
12. "		230	0,0393
13. "			
14. "		216	0,0090
15. "			
			1,4733

Bei den 3 ersten Versuchen habe ich sogar 1—4 % Rohfaser mehr gefunden, als verabreicht war. Dieser Analysenfehler erklärt sich dadurch, dass die Hühnerkothrohfaser trotz aller Bemühungen, den Sand aus dem Verdauungskanal der Hühner zu entfernen, doch immer sehr erhebliche Mengen von Sand enthielt. Dieser Sand musste nun natürlich Fehler bedingen; erstens enthält derselbe seiner Natur nach gewisse Mengen Hydratwasser, welches erst beim Glühen weggeht und dann ist eine gleichmässige Mischung des Kothes schwerer zu erzielen. Bei dem Versuch mit Schnittkohlmehl war dem be-

1) Analyse, vgl. den später zu besprechenden Kaninchenversuch.

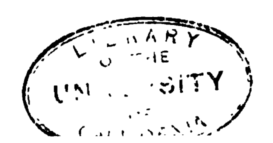
treffenden Versuchsthier vom 12. December an die Möglichkeit abgeschnitten, Steine zu sich zu nehmen, dem entsprechend in dem Koth dieses Thieres bedeutend weniger Sand enthalten, als dies bei dem Kothe der 3 ersten Versuchsthiere der Fall war. Jedenfalls ist aus diesem Versuch ersichtlich, dass die Hühner nicht im Stande sind, Rohfaser zu verdauen.

Versuche an Hunden.

Verdauungsversuche mit Rohfaser an Hunden sind eigentlich nicht gemacht, nur liegen einige Beobachtungen von Frerichs, Hofmann und Voit vor, die allerdings darauf hindeuten, dass Rohfaser im Verdauungskanal der Hunde nicht in Lösung übergeführt wird. Der Versuch an Hunden war leicht anzustellen; in derselben Art, durch Fütterung von Fleisch und Knochen, ist es möglich, in 6—7 Tagen den Verdauungskanal rohfaserfrei zu machen. Zuerst wurde Watte und Leinwand, später junges Gras (Poa pratensis) von bekanntem Rohfasergehalt den Thieren gegeben und dann bis zur Ausscheidung der letzten Rohfaserspuren Fleisch und Knochen gereicht. Vor Anstellung des Versuches wurde die Henneberg'sche Rohfaserbestimmung auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Von demselben Hundekoth wurden 2 Portionen abgewogen, mit Portion II 0,325g trockene Watterohfaser innig vermischt.

Portion I 24,3g Koth gab 0,1767g Rohfaser = 0,721 %.
„ II 34,455g „ „ (0,5697—0,325) = 0,2447g Rohfaser = 0,7102 %.

Die ersten Versuche mit Watte und Leinwand fielen negativ aus, d. h. sämmtliche verfütterte Rohfaser war im Koth wiederzufinden; 90 % derselben erschien schon nach 24 Stunden. Ich glaube die Versuchsprotokolle nicht weiter anführen zu sollen. Der dritte Versuch wurde zweimal mit Grasfütterung ausgeführt, aber auch mit demselben negativen Resultat. In dem ersten Grasversuch wurde die Rohfaser täglich sowohl nach Henneberg, wie nach Schulze bestimmt und gaben die verschiedenen Methoden nicht wesentlich verschiedene Zahlen; auch hier wurde wohl aus demselben Grunde, wie oben, mehr Rohfaser in den Ausgaben wie in den Einnahmen gefunden. Das Nähere zeigt folgende Tabelle:



Versuch I.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth n. Henneberg	Rohfaser im Koth nach Schulze
1878 1. — 8. Juni	Pro Tag 200g Fleisch, 300 ccm Milch und 60 g Knochen	0	1206 g	1)	
9. Juni	33,854g Gras 2)	6,726			
10. „	200g Fleisch, 60 g Milch, Knochen		105	0,15	0,12
11. „	do.		96	0,706	0,707
12. „	do.		170	6,257	6,231
13. „	do.		140	0,044	0,02
14. u. 15. Juni	do.		210	0,001	0,006
16. Juni	do.		100	0	0
17. „	do.		85	0	0
	Summe der Rohfaser im Koth:			7,158	7,084

Versuch II.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth nach Henneberg
1869 10. — 16. Jan.	Pro Tag 500g Fleisch, 100 ccm Milch, Knochen ad libitum	0		1)
17. Januar	500g Fleisch, 20,55g Gras 2)	4,08g		
18. u. 19. Jan.	Pro Tag 500g Fleisch, 100g Milch und Knochen		273g	3,9528
20. — 24. Jan.	Per Tag do.		578	0,130
25. Januar				
	Summe der Rohfaser im Koth:			4,0828

Versuche an Kaninchen.

Zuerst hatte ich die Absicht, die Versuche an Kaninchen in derselben Art anzustellen, wie die bisher besprochenen durch Fütte-

1) Den 6.—8. Juni keine Rohfaser im Koth nachzuweisen, ebenso am 9. Januar im Koth keine Rohfaser nachzuweisen.

2) Das zur Fütterung resp. Analyse vorbereitete lufttrockene Gras von Poa pratensis enthielt im Mittel zweier gut übereinstimmender Analysen 19,867 % stickstoff- und aschefreier Rohfaser.

rung rohfaserfreier Nahrung. Dem stellten sich aber bald unübersteigliche Hindernisse entgegen, indem die Versuchsthiere nach 6—8 wöchentlicher Fütterung sämmtlich zu Grunde gingen und ausserdem die Kothabsetzung so unregelmässig und unnormal, meist in flüssiger Form erfolgte, dass die Aufsammlung derselben dadurch sehr erschwert wurde. Die Section einiger verendeter Thiere ergab denn auch die Todesursache und den Hinweis darauf, wie solche Versuche angestellt werden sollen.

Am 30. September 1878 wurde ein Kaninchen in einen Käfig gethan, der mit einem Siebboden von 3^{mm} Maschenweite versehen war. Auf demselben sammelte sich der Koth, während der Harn von einem darunter stehenden Zinktrichter in ein Glasgefäss ablief. Das Thier sollte täglich mit 150^{ccm} Milch und 5^{g} Zucker ernährt werden. Vom 1. October an wurde die Nahrung regelmässig aufgefressen; vom 11. October an erschien der Koth nicht mehr in Ballen, sondern in flüssiger, bis halbweicher Form. Am 1. December wurde das Thier im Käfig todt gefunden. Das Körpergewicht betrug 822^{g}, also noch 69 % des Anfangsgewichts, wo an einen Tod durch Verhungern noch nicht gedacht werden kann. Die Section ergab nun folgendes: Im Magen befand sich nur Schleim und die Anfänge einer Entzündung in dem Pylorustheil; der Dünndarm von Schleim erfüllt, war in seiner ganzen Länge stark entzündet, ebenso der Blinddarm. Letzterer war stark mit Koth angefüllt, der die Consistenz eines Glaserkittes besass und fest an den Wandungen und den Falten des Blinddarms haftete. Vergleicht man den Inhalt des Blinddarmes eines normal gefütterten Kaninchens damit, so ist der Unterschied in die Augen springend: es ist die Masse in dem Blinddarm ziemlich locker, sie fällt beim Rückbiegen des Darmes fast vollständig ab, und diese lockere Consistenz wird nur durch die Rohfaser veranlasst, es wird dadurch die Communication zwischen dem After und dem Magen offen gehalten, während bei dem verendeten Versuchsthiere eine solche kaum bestehen konnte. Es muss durch den Mangel an Rohfaser entschieden auch die Peristaltik des Darmkanals bedeutend geschwächt sein, und dieses wirkt auf die Ernährung des Thieres schädigend ein. Es war also der Mangel an Rohfaser, oder einer ähnlich mechanisch wirkenden Masse, die

den Tod des Thieres bewirkt hatte. Dass diese Auslegung die richtige ist, wurde mir bei den folgenden Versuchen vollständig klar. Wie anfangs schon erwähnt, sollten Hornspäne die Rohfaser ersetzen und wurde daher folgender Vorversuch angestellt. Ein Kaninchen von 1260g Körpergewicht wurde am 30. September in den Käfig gesperrt und bekam täglich 150ccm Milch, 5g Zucker und 2g Hornspäne. Die Nahrung wurde regelmässig aufgefressen und täglich Koth von normaler Consistenz und Form ausgeschieden. Am 16. December verendete auch dieses Thier mit einem Körpergewicht von 960g, also 76 % des Anfangsgewichts. Die Section ergab eine Verfettung der Leber und Niere bei ganz gesundem Magen und Darm. Der Inhalt des Blinddarms war nicht sehr fest, sondern locker und fiel beim Umbiegen des Darms aus den Falten heraus. Der Tod des Thieres war wahrscheinlich durch Schwefelwasserstoffentwicklung im Laboratorium veranlasst worden. Dieser Versuch konnte natürlich nicht beweisend für meine vorhin ausgesprochene Ansicht sein; ich habe ihn nur der Vollständigkeit und des so wesentlich anderen Sectionsbefundes wegen angeführt. Die näheren Details dieser Versuche gibt folgende Tabelle:

Fütterung ohne Hornspäne.

Datum	Fütterung	Koth	Bemerkungen
30. September			1179g Körpergewicht
1. October	150ccm Milch, 5g Zucker		Harn sauer
11. „	do.	6g	Koth halbweich
13. „	do.	7	Koth halbweich
14. „	do.	10	Koth flüssig
15. „	do.	5	Koth flüssig
18. „	do.	6	Koth halbweich
25. „	do.	10	Koth flüssig
1. December	do.		Bei 822g Körpergewicht: Tod.

Fütterung mit Hornspänen.

Datum	Fütterung	Koth	Bemerkungen
30. September			1260 g Körpergewicht
1. October	150 g Milch, 5 Zucker und 2 Hornspäne		Harn sauer
6. — 11. October	do.	19 g	Koth: Nüsse
13. October	do.	3	do.
14. „	do.	9	do.
15. „	do.	9	do.
16. — 22. October	do.	33	do.
16. December			Bei 960 g Körpergewicht: Tod.

Da mir die bis jetzt gereichte Nahrung nicht ausreichend schien, so setzte ich in dem folgenden Versuch Fleischmehl hinzu. Am 3. Januar 1879 wurde ein kräftiges Kaninchen in den Käfig gesetzt und vom 5. Januar ab täglich mit 10 g Fleischmehl, 5 g Zucker und 108 ccm Milch gefüttert. Wie die folgende Tabelle zeigt, hatte das Thier bis zum 20. Januar noch keinen Koth abgesetzt und war so heruntergekommen, dass es dem Verenden nahe war. Um die Verstopfung zu brechen, gab ich vom 20. Januar an täglich 2 g Hornspäne. Am 24. Januar wurden zum ersten Male 2 g normaler Koth gelassen, das Thier erholte sich darauf sehr rasch und diente noch bis zum 25. April 1879 als Versuchsthier. Es hatte hier also offenbar an einem mechanischen Reizmittel im Darm gefehlt und zeigten sich die Hornspäne in dieser Richtung sehr geeignet, was auch alle späteren Versuche beweisen.

Datum	Fütterung	Koth	Bemerkungen
1879 3. Januar	0	0	
4. „	0	0	
5. „	10 g Fleischmehl, 5 Zucker, 108 ccm Milch	0	
6. „	do.	0	
7. „	do.	0	
8. — 19. Januar	per Tag do.	0	Das Thier ist schwach, kein Appetit, seit dem Einstellen kein Koth.

Datum	Fütterung	Koth	Bemerkungen
20. Januar	do. + 2 g Hornspäne	0	
21. "	do.	0	Hornspäne fast aufgefr.
22. u. 23. Januar	do.	0	
24. Januar	do.	2 g	Alles aufgefr., Koth normal.
25. "	do.	0	
26. "	do.	4	
27. "	15 g Fleischmehl, 5 g Zucker, 2 g Hornspäne, 108 ccm Milch	5	
28. "	do.	7	
29. "	do.	8	
30. Januar bis zum 8. Februar 1880	do.	30	Immer alles aufgefressen, Harn sauer, im Koth keine Rohfaser.

Nach Erledigung dieser Vorfrage ging ich an die Bestimmung der Verdaulichkeit verschiedener Rohfaserarten durch Kaninchen. Zuerst sollte die Verdaulichkeit der Schnittkohlrohfaser bestimmt werden. Das eben erwähnte Kaninchen bekam vom 27. Januar bis 8. Februar täglich 15 g Fleischmehl, 5 g Zucker, 108 ccm Milch und 2 g Hornspäne. Der Koth war zuletzt vollständig rohfaserfrei und wurden am 9. Februar 12,675 g Schnittkohlmehl mit 1,7026 g asche- und stickstofffreier Rohfaser mit Milch angerührt gegeben. Die Ueberreste des Mehles wurden am 10. Februar mit Milch so lange vorgelegt, bis alles aufgefressen war. Vom 11. Februar an war die Nahrung wieder dieselbe, wie früher. Bis zum 1. März hatte das Thier 85 g Koth abgesetzt und zeigte der Koth der letzten Tage keine Rohfaserreste mehr. Es wurde der Koth getrocknet, gemahlen und die Rohfaser nach Henneberg bestimmt, nur mit der Modification, dass die Masse erst mit Aetheralkohol behandelt wurde, um den grössten Theil des Fettes, welches später störend wirkt, zu entfernen. Die sauren sowohl, wie die alkalischen Lösungen wurden noch heiss centrifugirt, der Rückstand in Wasser aufgekocht und centrifugirt und schliesslich die Masse auf einem gewogenen Filter mit Aetheralkohol behandelt. In aliquoten Theilen der unreinen Rohfaser wurde der gesammte Stickstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff bestimmt. Im Ganzen waren, wie die folgende Tabelle zeigt, 1,2608 g reine Rohfaser ausgeschieden, also 25,36 % verdaut. Die näheren Daten sind auf folgender Tabelle enthalten:

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
9. Febr.	12,675 g Schnittkohlmehl [1]) 108 ccm Milch	1,7026	7 g		Harn sauer
10. „	Die Schnittkohlüberreste mehrmals mit Milch vorgelegt, bis alles aufgefr.		14		Harn alkalisch
11. „	15 g Fleischmehl, 6 g Hornspäne, 108 ccm Milch. 10 g Zucker		0,5		Harn schwach sauer
12.—24.	Per Tag do.		46		Die Nahrung immer aufgefr., Harn sauer
25. Febr. bis 1. März	Per Tag do.		17,5		Koth rohfaserfrei
	Summe vom 9. Februar bis 1. März:		85 g	Summe: 1,2608 g	

Dasselbe Kaninchen diente weiter zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Heurohfaser. Vom 7. bis 11. März bekam es neben Milch 41,09 g feinzerschnittenes Heu mit 13,760 g asche- und stickstofffreier Rohfaser und vom 13. März wieder die frühere rohfaserfreie Nahrung. Bis zum 27. März, wo einige Tage vorher schon keine Rohfaser mehr ausgeschieden wurde, waren 92,5 g Koth abgesetzt. In dem trocknen, gemahlenen Koth wurde, wie oben, die Rohfaser bestimmt. Es waren darin 6,5991 g Rohfaser, asche- und stickstofffrei, enthalten, also 52,47 % verdaut. Das Nähere auf Tabelle I, S. 86.

Da dieses Kaninchen sich als gutes Versuchsthier gezeigt hatte, so diente es noch einem Versuche zur Bestimmung des Verdauungscoefficienten der Papierrohfaser. Von demselben Papierpräparat, von welchem das Huhn bekommen hatte, wurde am 28. und 29. März dem Kaninchen 5,4235 g mit 5,1718 g Rohfaser gegeben. Etwas Papier, entsprechend 0,0920 g Rohfaser wurde zurückgelassen, so dass das Thier 5,0798 g Rohfaser erhalten hatte. Bis zum 10. April hatte das Thier 59 g Koth ausgeschieden; darin fanden sich 2,2641 g reiner Rohfaser; es waren also 54,3 % verdaut. (Siehe Tabelle II, S. 86.)

1) 1680 g frischer Schnittkohl = 100 g Trockensubstanz = 5,95 % Trockensubstanz; 2,743 g Trockensubstanz gaben 0,3683 g asche- u. stickstofffreie Rohfaser = 13,48 %.

Tabelle I.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
März 2. — 6.	Per Tag 15 g Fleischmehl, 10 g Zucker, 108 ccm Milch		12 g		Nicht alles aufgefressen
7.	15 g Heu 1)				Nichts gefressen
8.	Dasselbe Futter vorgelegt		3		Wenig gefressen
9.	Die Ueberreste mit Milch und Wasser gegeben		2		Im Koth Heureste nicht wahrnehmbar, fast alles gefressen, Harn sauer
10.	10,120 g Heu		9		Fast alles aufgefr., Heureste im Koth wahrnehmbar
11.	15,970 g Heu		10		Fast alles aufgefr., Harn sauer
12.	Ueberreste von Heu mit Milch gegeben, bis alles aufgefressen	Summe: 13,760 g	16		
13. — 22.	Per Tag 15 g Fleischmehl, 10 g Zucker, 108 ccm Milch, 2 g Hornspäne		30		Alles aufgefressen
23. — 24.	15 g Fleischmehl, 10 g Zucker, 108 ccm Milch		12		
25. — 27.	15 g Fleischmehl, 10 g Zucker, 108 ccm Milch, 2 g Hornspäne		10,5		
	Summe von 7. bis zum 28. März:		92,5 g	Summe: 6,5991 g	verdaut: 52,47 %

Tabelle II.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
28. März	3,4565 g Papier mit Milch und Zucker				
29. „	1,967 g Papier mit Milch und Zucker	5,1718 g	3		Etwas Papier nachgelassen = 0,092 g Rohfaser
30. März bis 10. April	Per Tag 15 g Fleischmehl, 10 g Zucker, 108 ccm Milch, 2 ccm Hornspäne		56		
		Summe:	59 g	2,2641 g	54,3% verdaut

1) Bei 15 % Wassergehalt enthielt das Heu 29,31 % N-haltige = 29,06 % N-freie Rohfaser; 41,09 g = 40,26 g Trockensubstanz = 13,76 g N-freie Rohfaser.

Ein weiterer Versuch mit Watte scheiterte daran, dass das Thier die Aufnahme hartnäckig verweigerte. Es wurde daher das Thier in Freiheit gesetzt.

Eine Wiederholung mit derselben Papierrohfaser bei einem andern Kaninchen gab merkwürdigerweise ein ganz anderes Resultat. Vom 28. März bis zum 3. April 1880 bekam ein rohfaserfreies Kaninchen 9,446 g reiner Rohfaser in Form von Papier; etwas Papier = 0,0175 g Rohfaser war nicht verzehrt, so dass das Thier im Ganzen 9,429 g Rohfaser zu sich genommen hat. Am 11. April, also nach 8 Tagen, wurde das Thier getödtet und die Rohfaser in dem Verdauungskanal und Koth bestimmt. Im Koth fanden sich 4,888 g, im Dick- und Dünndarm 1,5689 g, im Magen und Dünndarm 0,3241 g Rohfaser, so dass im Ganzen 6,7810 g Rohfaser nicht verdaut war. Nach diesem Versuch waren also nur 28,08 % Rohfaser verdaut worden. Möglich, dass von der im Magen und Blinddarm nachgewiesenen Rohfaser noch ein Theil zur Resorption gelangt wäre und sich daraus das abweichende Resultat erklärt. Es hätte in diesem Falle dann die Verdauung der Rohfaser mehr als 8 Tage beansprucht.

Gleichzeitig mit dem Schnittkohlversuch wurde einem andern rohfaserfreien Kaninchen am 4. Februar 1879, 14,825 g Möhrenmehl mit 2,339 g reiner Rohfaser gegeben. Die sonstige Nahrung war dieselbe, wie bei den früheren Versuchen. Bis zum 20. Februar hatte das Thier 63,5 g Koth ausgeschieden mit 0,8119 g reiner Rohfaser; es waren daher 65,3 % verdaut. (Siehe Tabelle I auf S. 88.)

Einen weiteren Versuch stellte ich mit Sägespänen an. Ein rohfaserfreies Kaninchen erhielt vom 31. März bis 2. April 1879 19,7745 g Sägespäne mit 12,4451 g Rohfaser, von welchen 0,1350 g zurückgelassen wurden; es hatte also 12,3101 g zu sich genommen. Bis zum 15. April, wo im Koth keine Rohfaser mehr nachweisbar war, hatte das Thier 134 g Koth mit 9,788 g Rohfaser ausgeschieden; es waren somit 20,49 % verdaut. (Siehe Tabelle II auf S. 88.)

Tabelle I.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
Januar 20. — 31.	Per Tag 10g Fleischmehl, 5g Zucker, 108 ccm Milch, 2g Hornspäne		54g		Immer alles aufgefressen
Februar 1. — 3.	Per Tag do.		25	0	Harn sauer
4.	14,825g Möhrenmehl 1) mit Wasser gegeben	2,339g			
5.	Ueberreste mit Milch gegeben		4		Alles aufgefr. Harn schwach alkalisch
6.	15g Fleischmehl, 10g Zucker 2g Hornspäne und Milch		6		Alles gefressen
7.	do.		6		Harn alkalisch
8.	do.		7	0,195	Harn sauer
9. — 20.	do.		40,5	0,6169	
			63,5g	Summe: 0,8119g	Im Ganzen 65,3% verdaut

Tabelle II.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
1879 14. — 30. März	Per Tag 15g Fleischmehl, 5g Zucker, 2g Hornspäne, 108 ccm Milch		nicht gewogen		In den letzten Tagen im Koth keine Rohfaser mehr nachweisbar
31. März	3,7765 Sägespäne mit Milch und Zucker		6g		
1. April	6,581g Sägespäne		13		Fast alles aufgefr.
2. „	9,417g Sägespäne	12,3101g	18		0,135g Rohfaser nachgelassen
3. „	15g Fleischmehl 5g Zucker, 3g Hornspäne 108 ccm Milch		2		
4.—15. April	do.		95		In den letzten Tagen im Koth keine Rohfaser mehr nachweisbar
			Summe: 134g	Summe: 9,788g	verdaut 20,49%

1) 750g frische Möhren = 40g Trockensubstanz = 5,33% Trockensubstanz. 1,9105g Trockensubstanz = 0,3015g asche- und stickstofffreier Rohfaser = 15,78%; 14,825g = 2,33g Rohfaser; in den frischen Möhren demnach 0,8415% Rohfaser.

Dasselbe Kaninchen sollte weiter zu einem Verdauungsversuch mit Leinwand dienen; es wurde Leinwand mit Schwefelsäure und Kali ausgekocht, getrocknet und gemahlen. Von diesem Präparat verzehrte das Kaninchen 5,1025g mit Milch gemischt, innerhalb 2 Stunden. Schon am Nachmittag desselben Tages wurde es sehr schwach und starb 24 Stunden darauf den 16. April, 4 Uhr Nachmittags, nachdem es noch 6g Koth ausgeschieden hatte. Die Section ergab die Todesursache; die Leinwand hatte den Pylorus verstopft, in Folge dessen zeigte sich die Magenschleimhaut bedeckt mit blutigen Extravasaten; die Schleimhaut des Darmes war vollständig normal und fand sich im ganzen Darm Leinwand. Es wurde die Leinwand im Magen, im Dünndarm, im Blind-, Mastdarm und Koth gesondert bestimmt und fanden sich

im Magen	0,9865g
„ Dünndarm	0,1161 „
„ Blind-, Mastdarm und Koth	3,2827 „
Im Ganzen	4,3853g

In der verfütterten Leinwand waren 4,6378g Rohfaser enthalten; es waren mithin 0,2525g Rohfaser schon resorbirt.

Weiter sollte die Verdaulichkeit der Rohfaser von Kohlblättern durch Kaninchen untersucht werden. Vom 11.—16. November 1879 bekam ein rohfaserfreies Kaninchen 220g Kohlblätter mit 18,91g Rohfaser. Bis zum 28. November, wo der Koth vollständig rohfaserfrei war, waren 130g Koth mit 4,162g reiner Rohfaser ausgeschieden, also 77,99 % verdaut. Halten wir dieses Ergebniss mit dem Resultat des Verdauungsversuches von Weiske zusammen, so scheint es, als wenn die Rohfaser im Kohl ganz besonders leicht angreifbar im Verdauungskanale ist.

Bis jetzt war von allen Rohfaserarten ein beträchtlicher Theil verdaut; es fragt sich weiter, wie sich die vollständig verholzte Cellulose der Steinfrüchte im Verdauungskanale der Pflanzenfresser verhält. Es wurden zur Entscheidung dieser Frage von der inneren Haut befreite Nussschalen gepulvert und verfüttert. Das Nussschalenpulver ergab 68,84 % Rohfaser und wurden einem rohfaserfreien

Kaninchen vom 15. bis 23. Mai 50,809 g, enthaltend 34,98 g Rohfaser, gegeben. Das Thier nahm dieselben im Ganzen willig auf; nur am letzten Tage wurden 4,154 g Rohfaser zurückgelassen und ein Theil beim Fressen verschüttet (2,323 g Rohfaser). Es wurde dieselbe durch das Sieb in den Harn gespült, die Rohfaser darin bestimmt und diese von der verfütterten Menge ebenfalls in Abzug gebracht. Im Ganzen hatte das Thier also 28,503 g Rohfaser zu sich genommen. Am 31. Mai wurde das Thier getödtet, der Darminhalt mit dem Koth vermischt, getrocknet, gemahlen, und in einem aliquoten Theil die Rohfaser bestimmt. Es fanden sich in dieser Mischung 27,07 g Rohfaser, so dass 1,433 g = 5,03 % verdaut waren, also eine bedeutend geringere Menge, als von den bisher verfütterten Substanzen.

Datum	Fütterung	Rohfaser im Futter	Koth	Rohfaser im Koth	Bemerkungen
Mai 15.	3,9830 g Nussschalenpulver				
16.	Die Ueberbleibsel mit Milch verfüttert				Viel nachgelassen
17.	do.				do.
18.	do.				Alles aufgefressen
19.	6,3420 g Nussschalenpulver				do.
20.	8,4795 g do.				do.
21.	10,5665 g do.				do.
22.	11,2230 g do.				do.
23 — 31.	Milch, Hornspäne, Zucker				Am letzten Tage 6,477 g Rohfaser nachgelassen
		Summe: 34,980 g		Summe: 27,07 g	5,03 % Rohfaser verdaut

Zum Schluss dieser Versuche wollte ich noch die Verdaulichkeit von Rohfaser, die den Verdauungskanal schon passirt hatte, untersuchen, um zu sehen, ob ein Theil der unverdaut gebliebenen Rohfaser

bei einem nochmaligen Durchgang durch den Organismus resorbirt wird, oder nicht. Es wurden zu diesem Zweck mehrere Kaninchen längere Zeit mit Kleeheu gefüttert und der von ihnen gelieferte Koth gesammelt. Aus den so gewonnenen 1037 g trockenen Kleeheukothes wurde die Rohfaser nach Henneberg dargestellt und 225 g trockene unreine Rohfaser gewonnen, die 90,05 % reine Rohfaser enthielten. In der Zeit vom 4. bis 19. März 1880 erhielt ein rohfaserfreies Kaninchen 76,01 g dieser Substanz = 64,45 g reiner Rohfaser. Von der letzten Portion blieben 7,2595 g reiner Rohfaser zurück, so dass das Thier factisch 57,195 g verzehrt hat. Am 23. März wurde das Thier getödtet und im Koth-, Magen- und Darminhalt die Rohfaser bestimmt. Ausgeschieden hatte das Thier 33,865 g reiner Rohfaser, so dass 40,79 % verdaut waren, jedenfalls weniger, als bei dem ersten Durchgang des Kleeheus durch den Organismus muthmaasslich verdaut worden ist. Aus diesem Koth wurde wieder Rohfaser nach Henneberg dargestellt und 25 g gewonnen. Hiervon wurden 19,844 g mit 16,196 reiner Rohfaser vom 3. bis 10. Mai einem zweiten rohfaserfreien Kaninchen verfüttert. Vom 11. bis 20. Mai bekam das Kaninchen wieder Milch, Zucker und Hornspäne, am 21. wurde es getödtet und im Koth-, Magen- und Darminhalt die Rohfaser bestimmt. Zurückgelassen hatte das Thier bei der Fütterung 0,232 g reiner Rohfaser, demnach 15,964 g verzehrt, ausgeschieden waren 12,477 g, also nur 22,04 % verdaut.

Aus diesem Koth sollte die Rohfaser nun auch isolirt und verfüttert werden, leider ging mir durch ein Unglück die ganze Masse verloren und fehlte es mir damals an Zeit, den ganzen Versuch nochmals zu wiederholen.

Gleichzeitig mit diesen Versuchen wurden in den meisten Fällen Elementaranalysen der verfütterten und aus dem Koth dargestellten Rohfaser gemacht, um zu ermitteln, ob die verdaute Substanz der Rohfaser die Zusammensetzung der Cellulose besitzt. Der leichteren Uebersicht wegen will ich die elementare Zusammensetzung der verschiedenen Rohfaserarten, sowie die Zusammensetzung des verdaulichen und unverdaulichen Theiles derselben tabellarisch folgen lassen.

	Schnittkohlrohfaser			Heurohfaser			Papierrohfaser		
	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil
C	48,19	36,63	52,12	45,29	43,28	47,51	43,90	40,01	48,75
H	7,16	4,97	7,91	6,32	6,86	5,72	6,37	6,71	5,95
O	44,65	58,40	39,97	48,39	49,86	46,77	49,73	53,28	45,30
Verdaut in Procenten	25,36			52,47			55,43		

Auch diese Zahlen, die immer das Mittel zweier, oft auch dreier gut übereinstimmender Analysen sind, zeigen in Uebereinstimmung mit den über diesen Gegenstand schon vorliegenden Untersuchungen, dass der von der Rohfaser zur Verdauung gelangende Antheil derselben immer kohlenstoffärmer ist, als die ursprüngliche Rohfaser. Es hat aber dieser verdaute Antheil, je nach der Rohfaserart, eine sehr verschiedene, in ziemlich weiten Grenzen schwankende Zusammensetzung. Die Zusammensetzung des verdauten Antheils von Wiesenheu-Rohfaser war nach G. Kühn, H. Schulze und Ahronstein[1]) im Mittel von 4 Versuchen

43,8 % C
6,4 % H
49,8 % O

also fast dieselben Zahlen, zu denen ich gelangt bin; aber wesentlich verschieden in seiner Zusammensetzung von der aus Schnittkohlrohfaser, Möhrenrohfaser, oder Sägespänrohfaser verdauten Substanz. Es ist also der Satz, dass der von der Rohfaser zur Verdauung gelangende Antheil derselben die Zusammensetzung fast reiner Cellulose hat, nur bedingt, d. h. für die Rohfaser des Rauhfutters zu Recht bestehend.

In derselben Weise wie bei den Kaninchen wollte ich bei einem Schafe die Verdaulichkeit der Heurohfaser bestimmen; es wurde ein Southdown-Hammel von 55 Pfund Gewicht am 24. März 1879 in einen

1) Journal für Landwirthschaft 1866 S. 287.

Möhrenrohfaser			Sägespänrohfaser			Kleeheukoth-Rohfaser, einmal passirt			Kleeheukoth-Rohfaser, zweimal passirt		
Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil	Ursprünglich	Verdauter Antheil	Unverdauter Antheil
47,11	39,12	62,16	50,66	45,68	51,94	46,67	45,91	47,19	47,19	40,19	49,17
7,17	6,78	7,91	6,95	6,78	7,00	6,33	6,54	6,19	6,19	6,30	6,16
45,72	54,10	29,92	42,39	47,54	41,06	47,00	47,55	46,62	46,62	53,51	44,67
65,3			20,49			40,79			22,04		

von Hofmeister und Weiske angegebenen Versuchskäfig gesperrt, wo vermittelst des Kothbeutels der Koth aufgefangen werden konnte, und sollte das Thier allmählich an die Aufnahme eines rohfaserfreien, mit Hornspänen vermischten Futters gewöhnt werden. Vom 24. März an sollte die tägliche Nahrung aus

100g Reisstärke
100 „ Fleischmehl
50 „ Zucker
50 „ Hornspäne
1l Milch

mit Zusatz von etwas Kochsalz, weinsaurem Kali und phosphorsaurem Natron bestehen; von diesem Futter verzehrte das Thier in den ersten Tagen fast gar nichts, so dass vom 26. neues Futter zugerichtet werden musste, welches das Thier auch innerhalb zweier Tage zu sich nahm. Von da an verweigerte dasselbe die Aufnahme des Futters und konnte ich dasselbe für einige Zeit zur Aufnahme des Futters nur durch Zusatz eines wässerigen Destillates von Schafgarbe, Tonkabohne und Kümmel bewegen. Aber auch dieses Mittel schlug bald fehl und sah ich mich daher genöthigt, um nicht täglich die Nahrung erneuern zu müssen, dieselbe in eine haltbarere Form umzuwandeln. Ich stellte mir zu diesem Zweck aus 500g Hornspänen, 1500g Fleischmehl, 1100g Reisstärke, 200g Zucker, 32g phosphorsaurem Natron, 34g weinsaurem Kali, 47g Kochsalz, 10g Knochenmehl und 2l Wasser einen Teig her, der im Ofen bei niederer Temperatur ausgebacken, einen Kuchen von nahezu 4000g

Gewicht ergab. Von diesem Kuchen sollte dem Thiere täglich mehrere Male zu kleineren Mengen, mit aromatischem Wasser angerührt, gegeben werden und nahm das Thier anfangs diese Nahrung verhältnissmässig gut auf. Am 4. April bemerkte ich, dass das Thier sich die Wolle von fast dem ganzen Rücken abgefressen hatte und wurde es daher so angebunden, dass es in Zukunft seinen Hunger auf diese Weise nicht stillen konnte. Erst 8 Tage darauf wurde das Thier schwach und ging einige Tage später zu Grunde. Die Section ergab, dass die Wolle zu grünen, harten Knäueln geballt, die Ausführungsgänge sämmtlicher Magenabtheilungen verstopft und dadurch eine Entzündung der Magenschleimhaut hervorgerufen hatte. Die bis dahin vom Thier gelieferte Kothmenge von 360^{g} enthielt noch sehr viel Rohfaser, leider erlaubten es mir Zeit und Umstände nicht, einen ähnlichen Versuch vorzunehmen und kehrte ich zu den Kaninchen als Versuchsthieren wieder zurück.

Nachdem durch die früheren Versuche der Verdaulichkeitsgrad verschiedener Rohfaserarten festgestellt war, sollte folgender Versuch Aufschluss darüber geben, ob eine Rohfaserbeifütterung den Eiweissumsatz geringer macht, oder mit anderen Worten, den Fleischansatz begünstigt, wie dies für die übrigen Kohlehydrate der Nahrung von Voit bei Hunden festgestellt ist.

Ein Kaninchen wurde vom 23. Mai 1879 an täglich mit 100^{ccm} Milch, 2^{g} Hornspänen und 50^{ccm} Wasser gefüttert und war die zweitägige Stickstoffausscheidung durch die Nieren vom 4. Juni an ziemlich constant geworden.

Im Mittel wurde täglich 0,9034^{g} Stickstoff ausgeschieden, was einem Fleischumsatz von 26,74^{g} entspricht. Vom 10. bis 13. Juni bekam das Thier 27,852^{g} Strohrohfaser [1]). Ein Sinken der Stickstoffausscheidung war, wie die Tabelle zeigt, unverkennbar. Im Mittel

---

1) Es enthielt diese Rohfasermenge 0,0546^{g} Stickstoff, welcher wohl vernachlässigt werden konnte, da derselbe physiologisch indifferent den Körper im Koth verlassen hat.

wurde an den, unmittelbar unter dem Einfluss der Rohfaser stehenden Tagen (11.—14. Juni) 0,7618 g Stickstoff ausgeschieden, also 22,55 g Fleisch umgesetzt, was einer Ersparung von 15 % gleichkommt. Auch an den folgenden Tagen bis zum 20. Juni war die Stickstoffausscheidung eine geringere, was ich der Nachwirkung der Rohfaser zuschreibe, die zur Resorption eine längere Zeit in Anspruch nimmt. Der Versuch musste leider am 20. Juni unterbrochen werden, daher konnte ich das Ansteigen der Stickstoffausscheidung, das meiner Ansicht nach entschieden eingetreten wäre, nicht mehr beobachten. Das Thier wurde getödtet und die im Koth und Verdauungskanale enthaltene Rohfaser bestimmt. Es fanden sich im Ganzen 18,88 g Rohfaser, so dass 5,51 g = 22,59 % verdaut waren.

Noch mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnt die eben ausgesprochene Ansicht von der Verminderung des Eiweissumsatzes durch die Rohfaser bei der Betrachtung des nun folgenden Versuches mit einem Igel.

Dieselbe Strohrohfaser wurde einem Igel, der bei einer Nahrung von 200 ccm Milch und 50 ccm Wasser auf eine constante Stickstoffausscheidung gebracht war, verfüttert. Vom 28. Mai bis 1. Juni hatte das Thier 3,9936 g Stickstoff, im Mittel per Tag 0,7987 g Stickstoff ausgeschieden, was einem täglichen Fleischumsatz von 23,63 g entspricht. Am 2., 3. und 4. Juni wurden je 4 g Strohrohfaser zugegeben und wurde im Mittel dieser Tage 0,8232 g Stickstoff = 24,63 g Fleisch umgesetzt. Es hatte hier also eher eine Vermehrung des Fleischumsatzes (um 4,2 %) stattgefunden. Jedenfalls war nichts erspart, und dieses scheint erklärlich, da die Igel wohl nicht im Stande sind Rohfaser, und zwar so verhärtete, zu verdauen [1]). Als

---

1) Es war nämlich bei diesem Versuch mit dem Igel verabsäumt worden, den Koth zu sammeln, um eine Rohfaserbestimmung darin zu machen; später habe ich die Lücke mit dem schon vorausgesehenen Resultat auszufüllen gesucht.

Ein Igel von 755 g Gewicht wurde den 20. April 1883 in einen Käfig gesperrt und so lange mit Milch und Zucker gefüttert, bis der Darm rohfaserfrei geworden war. Im Koth vom 6. bis 8. Mai war keine Spur von Rohfaser mehr bemerkbar, so dass vom 9. bis 11. Mai die Rohfaser in Form von Haferstroh gegeben werden konnte und zwar wurde dem Thiere 10,7475 g gepulvertes Stroh mit Milch und Zucker angerührt vorgelegt. In dem Stroh waren 2,7593 g Roh-

in der nun folgenden Periode vom 5. bis 8. Juni 39 g Rohrzucker gegeben wurden, fiel die Stickstoffausscheidung merklich; es wurden im Mittel dieser Tage 0,7234 g Stickstoff = 21,41 g Fleisch umgesetzt. Vom 9. bis 13. Juni stieg bei der ursprünglichen Nahrung der Fleischumsatz wieder. (Siehe Tabelle auf S. 97.)

Wenn wir nun den mittleren Fleischumsatz in den Perioden vom 28. Mai bis 4. Juni und vom 9. bis 13. Juni berechnen, so finden wir, dass pro Tag 24,22 g Fleisch umgesetzt wurden, während der Zuckerperiode hingegen 21,41 g, was einer Ersparniss von 11,6 % [1]) entspricht. (Siehe Tabelle S. 98.)

Es war also bei den Kaninchen durch die Rohfasergabe, ebenso wie bei dem Igel durch die Zugabe von Zucker eine Ersparniss von Eiweiss herbeigeführt worden. Die Rohfaser wird daher nicht nur ohne weiteren Nutzen für den Organismus der Pflanzenfresser gelöst, sondern sie vollzieht ebenfalls, wie die übrigen Kohlehydrate, als Nährstoff eine wichtige Rolle [2]).

Wie verhält es sich nun aber mit dem Fettverbrauch im Körper des Pflanzenfressers, wenn statt Stärke oder Zucker Rohfaser der Nahrung beigegeben wird? Ist die Rohfaser ebenso wie die anderen Kohlehydrate befähigt, den Fettansatz zu begünstigen?

Dass solche Fragen nur mit Hilfe des Respirationsapparates beantwortet werden können, ist nach unserm jetzigen Stande der Ernährungslehre nicht mehr zweifelhaft, und ich musste daher, um zu einem einigermaassen befriedigenden Abschluss meiner Arbeiten

faser enthalten; 1,468 g Rohfaser hatte das Thier zurückgelassen, so dass es im Ganzen 1,2913 g zu sich genommen hatte.

Am 21. Mai wurde das Thier getödtet und die Rohfaser im Koth und Darm bestimmt, es wurde 1,3303 g gefunden, also etwas mehr als es aufgenommen hatte. Der ziemlich hohe Gehalt der Excremente an Sand hatte auch hier muthmaasslich den Fehler in der Rohfaserbestimmung verursacht. Verdaut war jedenfalls nichts von der Rohfaser. Nach dem Resultat das im Text besprochenen Versuches mit dem Igel, zusammengehalten mit dem Bau des Verdauungskanals (Länge des Rumpfes zum Darm wie 1:6, absolute Zahlen 19,1 resp. 117 cm) liess sich ein anderes Ergebniss auch nicht erwarten.

1) Nach C. Voit, Zeitschr. f. Biologie 1869 S. 437 beträgt bei Hunden die eiweissersparende Wirkung der Kohlehydrate 5—15 % des täglich umgesetzten Eiweisses.

2) Vgl. Zuntz, Landw. Jahrbücher 1879 S. 65 und H. Tappeiner, Zeitschr. f. Biologie 1884 S. 52.

Versuch Kaninchen.

Datum	Fütterung	Koth in g	Harn in ccm	Stickstoff im Harn	Stickstoff im Mittel	Fleischumsatz	Bemerkungen
23.—25. Mai	Wasser						
26. Mai	100 ccm Milch, 50 ccm Wasser, 2 g Hornspäne und etwas Heuasche						Milch verzehrt, Hornspäne nicht
30. „	do.						1435 g Körpergewicht
1. Juni	do.						1405 g Körpergewicht Das Thier gewöhnt sich an die Hornspäne
4. „	do.		90	0,960			
5. „	do.		100	0,880			
6. „	do.		110	1,04			1295 g Körpergewicht
7. „	do.	2	70	0,64	0,9034	26,74	1332 „
8. „	do.	6	120	1,074			1292 „
9. „		6	70	0,7176			1318 „
10. „	do. + 6,598 g Strohrohfaser	7	110	1,012			1280 „ Die Rohfaser vom 10. Juni alles aufgefressen
11. „	do. + 5,914 „ (Summa:	9	100	0,7544			1300 g Körpergewicht
12. „	do. + 6,848 „ 27,852)	12	120	0,940	0,7618	22,55	1257 „
13. „	do. + 8,492 „	3,5	80	0,5984			1267 „
14. „	100 g Milch, 50 g Wasser, Hornspäne und Heuasche	14	100	0,7544			1257 „
15. „	do.	1	110	0,696			1242 „
16. „	do.	2	90	0,7104			1240 „
17. „	do.	2	110	0,840			1215 „
18. „	do.	5	100	0,7488			1205 „
19. „	do.	5	100	0,7176			1198 „
20. „	do.	4	90	0,7176			1205 „

Versuche am Igel.

Datum	Fütterung	Beifutter	Harn in ccm	Stickstoff im Harn in g	Stickstoff im Mittel	Fleischumsatz pro Tag in g	Bemerkungen
27. Mai	200 ccm Milch 50 ccm Wasser		160				660 g Körpergewicht
28. „	do.		150	0,7424			
29. „	do.		155	0,896			
30. „	do.		155	0,8448	0,7987	23,63	670 do.
31. „	do.		150	0,7424			
1. Juni	do.		170	0,768			663 do.
2. „	do.	4 g Roggenstrohrohfaser	155	0,8352			
3. „	do.	do.	130	0,896	0,8323	24,63	
4. „	do.	do.	150	0,7656			
5. „	do.	9 g Rohrzucker	150	0,8192			
6. „	do.	10 g Rohrzucker	160	0,7104	0,7234	21,41	662 do.
7. „	do.	do.	170	0,7192			669 do.
8. „	do.	do.	160	0,6648			675 do.
9. „	do.		165	0,868			677 do.
10 „	do.		170	0,8704			667 do.
11. „	do.		300 (11. u. 12.)	1,488 (11. u. 12.)	0,8245	24,4	665 do.
12. „	do.						
13. „	do.		155	0,896			660 do.

zu gelangen, den Respirationsapparat zu Hilfe nehmen [1]). Eine wesentliche Erleichterung für meine Untersuchungen war der Umstand, dass mir von Prof. Karl Voit der von ihm construirte kleine Respirationsapparat zur Verfügung gestellt wurde und ich durch ihn und seinen Assistenten Dr. M. Rubner in die Handhabung desselben eingeführt wurde.

Der Versuchsplan selbst war folgender:

Es sollten die Versuchsthiere (Kaninchen) bei einer rohfaserfreien Nahrung auf eine gleichmässige Stickstoff- und Kohlenstoffausscheidung gebracht und dann die Wirkung einer längere Zeit dauernden Zugabe reiner Rohfaser auf den Stickstoff- und Kohlenstoffverbrauch im Organismus controlirt werden.

1) Durch die Erlangung eines Reisestipendiums seitens der Universität Dorpat, der ich damals angehörte, und die Freundlichkeit Prof. Karl Voit's, in dessen Laboratorium in München die jetzt folgenden Untersuchungen angestellt wurden, war ich in den Stand gesetzt, die Arbeit, wie ich sie geplant hatte, auch zu beendigen. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Prof. Karl Voit an dieser Stelle meinen wärmsten Dank zu sagen.

Nachdem der Darm dann vom grössten Theil der Rohfaser befreit war, sollte dieselbe Untersuchung unter Zugabe von Zucker zur Nahrung weiter geführt werden, um ein Aequivalentverhältniss zwischen Rohfaser und Zucker festzustellen.

Am 8. October 1879 wurden 12 Kaninchen in gesonderte Käfige gesperrt und mit Milch und Hornspänen, zuerst ad libitum, gefüttert. Nach einigen Tagen hatten sich sämmtliche Thiere an die Aufnahme der Hornspäne gewöhnt nnd konnte am 21. October mit zwei rohfaserfreien Kaninchen der Versuch begonnen werden; die übrigen Kaninchen dienten einstweilen als Reserve. Von diesem Termin an bekamen die beiden Versuchsthiere zusammen täglich 500^{ccm} Milch, 5^{g} Hornspäne und 50^{ccm} Wasser. Sie sassen in gesonderten, mit Siebboden versehenen Käfigen; der Harn und Koth beider wurden zur Analyse gemischt und wurden immer beide Käfige mit den Thieren zugleich in den Respirationskasten gesetzt. Die Milch, wie die Hornspäne waren für eine längere Zeit beschafft, und es gelang mir, mit derselben Milch die Thiere 21 Tage zu füttern, indem ich 12 l frischer Milch gleich nach dem Empfang aufkochte und noch süss in einen Liter fassende, gut verschliessbare Glasgefässe einfüllte und im Eisschrank aufbewahrte. In jeder Flasche war somit der Bedarf für zwei Tage und hielt sich die Milch bis zum Ende frisch, weil jedes Gefäss vor der völligen Entleerung nur einmal geöffnet zu werden brauchte. Um 9 Uhr Morgens wurde der Koth und Harn des Tages vorher gesammelt, gewogen und gemessen, dann das Gewicht der Thiere festgestellt und die Nahrung vorgelegt. Bis Mittag war dieselbe meist schon verzehrt und waren die Ausscheidungen, wie ein Blick auf die Tabelle zeigt, ziemlich regelmässig, wie auch das Körpergewicht in der ersten Periode vom 23. bis 31. October ziemlich constant blieb. An zwei Tagen, den 28. und 30. October, wurden Respirationsbestimmungen angestellt und aus den gefundenen Zahlen die mittlere Kohlensäureausscheidung für die ganze Periode berechnet; ebenso wurde nur an einzelnen Tagen der Schwefel und die Phosphorsäure des Harns bestimmt und darauf die spätere Rechnung für die Periode basirt. Die Untersuchungen des Kothes wurden in dem während der ganzen Periode gesammelten Koth ausgeführt. Da sowohl die Nahrung, als auch der Koth und der Harn der Versuchsthiere während der Respirationsversuche im Kasten bleiben musste, so war natürlich die Bestimmung des ausgeathmeten Wassers nicht möglich, für unsern Zweck auch ohne Bedeutung.

Datum	Hauptfutter	Beifutter	N der Nahrung	C der Nahrung	PO_5 der Nahrung	S der Nahrung	Harnmenge ccm	Koth gr	N im Harn	C im Harn	PO_5 im Harn	S im Harn	Asche im Harn	N im Koth	C im Koth	PO_5 im Koth	Asche im Koth	S im Koth	CO_2	Körpergewicht
1879 Octbr 8—22.	500 ccm Milch, 5 g Hornspäne, 50 ccm Wasser		3,433	35,3254	1 1602	0,3769														5402
23.	do.		do	do.	do.	do.	430	30												4590
24.	do.		do.	do.	do.	do.	425	21												4560
25.	do.		do.	do.	do.	do.	430	24	3,105											4560
26.	do.		do.	do.	do.	do.	410	23	3,066					9,35 p. Tag 1,039	51,50 p. Tag 5,72	6,11 p. Tag 0,68	17,10 p. Tag 1,90	2,335 p. Tag 0,2595		4570
27.	do.		do.	do.	do.	do.	490	26	3,066											4500
28.	do.		do.	do.	do.	do.	410	19	2,862		0,6405	0,1672							115,24 CO_2 = 31,43 C.	4500
29.	do.		do.	do.	do.	do.	465	30	3,085	2,493			2,76							4540
30.	do.		do.	do.	do.	do.	460	12	2,9029	2,5886	0,4452	0,1711	2,80						116,96 CO_2 = 31,9 C.	4540
31.	do.	22 g Rohfaser	3,457	44,1479	do.	do.	380	10	2,862	2,2974			2,716							4600
Nvbr. 1.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	375	32	4,118	4,5823										4690
2.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	370	61						8,80 p. Tag 1,10	67,79 p. Tag 8,474		20,78 p. Tag 2,59	1,844 p. Tag 0,23		4740
3.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	420	41	4,688	4,9448			4,289						116,375 CO_2 = 31,73 C.	4740
4.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	340	32												4750

5.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	455	37	4,608	5.446		0,2858	2,810	8,80 p. Tag 1,10	67,79 p. Tag 8,474		20,78 p. Tag 2,59	1,844 p. Tag 0,23	115,911 CO_2 = 31,61 C.	4690
6.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	350	32					2,478							4650
7.	do.	do.	do.	do.	do.	do.	470	20	2,486	6,958			2,268							4600
8.	do.		3,38	36,185			510	40	2,668				3,200							4580
9.	do.		3,433	35,3254			490	16	4,5457											4510
10.	do.		3,38	36,185			420	4,5		9,912										4500
11.	do.		do.	do.			490	25,5	5,7637		0,864	0,3215	5,355	5,587 p. Tag 0,798	38,91 p. Tag 5,56	5,10 p. Tag 0,7285	11.747 p. Tag 1,678			4410
12.	do.		do.	do.			410	12												4420
13.	do.		do.	do.			470	24	3,364				2,592						123,48 CO_2 = 33,67 C.	4360
14.	do.		do.	do.			370	21	5,4375	7,984			4,44							4400
15.	do.	11 g Zucker	3,38	40,94			430	24												4400
16.	do.	do.	do.	do.			470	23	5.3287	12,62 p. Tag 3,155	1,674 p. Tag 0,4185	0,6081 p. Tag 0,1520	4,539	4,637 p. Tag 1,1592	26,12 p. Tag 6,53	4,10 p. Tag 1,025	9,371 p. Tag 2,343		126,84 CO_2 = 34,59	4240
17.	do.	do.	do.	do.			360	30												4320
18.	do.	do.	do.	do.			500	15	4,8285				4,08							4350
19.	do.	33 g Zucker	3,38	50,45			340	15												4340
20.	do.	do.	do.	do.			490	13	5,394	10,216 p. Tag 3,4053	1,125 p. Tag 0,375	0,4516 p. Tag 0,1505		2,379 p. Tag 0,793	13,18 p. Tag 4,39				136,26 CO_2 = 37,16	4270
21.	do.	do.	do.	do.			420	13	2,436											4330
22.							370	20												4350

Ueberblicken wir zuerst den Effect der Fütterung in der ersten Periode, vom 22. bis 30. October, so ergibt sich folgende Bilanz:

		C	N	Asche	S	PO_5
Einnahmen:						
4500 ccm Milch	154,9 Eiweiss	82,04	24,79	35,55	1,89	10,42
	180,6 Milchzucker[1])	72,27				
	186,3 Fett	142,51				
45 g Hornspäne[2])		21,11	6,10	0,15	1,53	0,025
		317,93	30,89	35,70	3,42	10,44
Ausgaben:						
In 3900 ccm Harn		22,13	26,93	24,8	1,52	4,88
In 185 g Koth		51,50	9,35	17,1	2,33	6,11
Respiration		284,98				
		358,61	36.28	41,9	3,85	10,99
Differenz:		— 40,68	— 5,39	— 6,2	— 0,43	— 0,55

1) Der Gehalt der Milch an Zucker wurde leider nicht direct bestimmt; derselbe kann aber ungefähr aus dem Gesammtkohlenstoffgehalt der Milch berechnet werden, wenn man den Kohlenstoff des Eiweisses und Fettes in Abzug bringt und den Rest auf Milchzucker verrechnet.

500 ccm Milch = 32,98 C { 9,12 in 17,2 g Eiweiss; 15,83 in 20,705 g Fett; 8,03 in 20,07 g Milchzucker } = 32,98

10 ccm Milch mit Quarzsand zur Trockensubstanzbestimmung gaben 1,31 g Trockensubstanz; 100 ccm Milch = 13,1 g Trockensubstanz.

5 ccm Milch mit Quarzsand im Hofmeister'schen Schälchen getrocknet und verbrannt gaben 0,02755 N; 100 ccm Milch = 0,551 N = 3,4437 Eiweiss.

10 ccm Milch zur C- und Fettbestimmung mit Quarzsand getrocknet und gepulvert; Mischung = 17,039 g.

Zur C-Bestimmung 3,5616 g der Mischung; gefunden 0,5058 CO_2 = 0,1379 C. 17,039 g = 10 ccm Milch = 0,6596 C; 100 ccm Milch = 6,596 C.

Zur Fettbestimmung 4,0325 g, gefunden 0,098 g Fett. 17,039 g = 10 ccm Milch = 0,4141 Fett; 100 ccm Milch = 4,141 g Fett

10 ccm Milch = 0,079 g Asche; 100 ccm Milch = 0,790 g Asche.

50 ccm Milch mit Kalihydrat und Salpeter 0,1528 $BaOSO_3$ = 0,021 g S. 100 ccm Milch = 0,042 g S.

10 ccm mit $NaOCO_2$ eingedampft eingeäschert = 0,0362 $2MgOPO_5$ = 0,02315 PO_5 100 ccm Milch = 0,2315 g PO_5.

2) Hornspäne-Analyse.

1,1840 g gaben 1,0244 g Trockensubstanz = 86,51 %.

0,2074 g gaben 0,02813 g N = 13,56 % N.

0,2128 = 0,3660 CO_2 = 0,09982 C = 46,91 % C.

1,323 = 0,0045 Asche = 0,34 % Asche.

2,2350 mit Kalihydrat und Salpeter = 0,5522 $BaOSO_3$ = 0,07584 S = 3,3933 % S.

3,237 mit $NaOCO_2$ verbrannt = 0,0028 $2MgOPO_5$ = 0,0018 PO_5 = 0,055 % PO_5.

Daraus ergibt sich der Gesammtverbrauch im Körper folgendermaassen, wobei der C und N der verfütterten Hornspäne als unresorbirbar (wie wir später sehen werden) von den Ausgaben in Abzug gebracht ist.

	C	N
Gesammtverbrauch	337,50	30,18
in 188,6 Eiweiss	99,95	30,18
„ 180,6 Milchzucker . . .	72,27	0
„ 216 Fett	165,28	0

In der Nahrung bekamen die Thiere während der ganzen Periode 24,79g Stickstoff = 154,9g Eiweiss und 186,3g Fett, so dass 5,39g Stickstoff = 33,7g Eiweiss = 159,49g Fleisch und 29,7g Fett vom Körper der Versuchsthiere zugesetzt waren. Es ist also im Körper Folgendes vorgegangen:

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Milchzucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	188,6	— 33,7	— 159,49	180,6	216	— 29,7
Per Tag	20,96	— 3,74	— 17,72	20,07	24	— 3,3

Mit der Fleischabgabe Hand in Hand geht die Abgabe von Schwefel und Phosphorsäure und ist es interessant, dass das Verhältniss zwischen dem ausgeschiedenen N und S dem im Fleisch sich findenden gut entspricht. Die Stickstoffausscheidung im Harn ist während der ganzen Periode ziemlich constant, schwankend zwischen 2,862—3,105g, im Mittel pro Tag 2,9927; es wurden also, nach dem Stickstoffgehalt im Harn berechnet, täglich 88,55g Fleisch umgesetzt. Ebenso gleichmässig ist die tägliche Ausscheidung an C, Asche, was die Berechnung des C der Respiration und der Schwefel- und Phosphorsäureausscheidung aus nur 2 Analysen rechtfertigt.

Vom 31. October bis zum 7. November wurden täglich neben der früheren Nahrung 22g aus feinzerschnittenem Heu nach der Henneberg'schen Methode präparirter Rohfaser gegeben und vollständig verzehrt. In diesen 176g Rohfaser waren im Ganzen 149,04g trockne, reine Rohfaser enthalten. Ausser hygroskopischem Wasser fanden sich in der präparirten Rohfaser noch geringe

Mengen von Stickstoff: 0,13 %, Asche: 0,788 % und nicht wägbare Spuren von Chlorophyll und Wachs, die durch die sorgsamste Behandlung mit Aether und Alkohol nicht vollständig entfernt werden konnten. Mit den 176 g verfütterter Rohfaser waren demnach 0,230 g Stickstoff gegeben worden, welche Menge ihrer Natur nach physiologisch wohl kaum eine Bedeutung beanspruchen kann. Stellen wir, wie oben, so auch hier die Bilanz zwischen Einnahme und Ausgabe für die zweite Periode:

	Einnahmen:	C	N	Asche	S
4000 ccm Milch	137,6 Eiweiss	73,01	22,04	31,60	1,68
	160,6 Milchzucker	64,24			
	165,6 Fett	126,68			
176 g Rohfaser		70,58	0,23	1,39	
40 g Hornspäne		18,76	5,42	0,14	1,35
		353,27	27,69	33,13	3,03
	Ausgaben:				
	In 3290 ccm Harn	21,93	18,52	19,40	1,14
	„ 295 g Koth	67,79	8,80	21,17	1,84
	Respiration	253,36			
		343,08	27,32	40,57	2,98
	Differenz:	+ 10,19	+ 0,37	— 7,44	+ 0,05

Unter dem Einfluss der Rohfasergabe hat ein geringer Ansatz von N stattgefunden und zwar wurden 0,37 g N = 2,3 g Eiweiss = 11,05 g Fleisch im Körper aufgespeichert.

Mit dem Ansatz von N geht ein solcher von S Hand in Hand. Auch während dieser Periode sind die N-, C-, S-, Aschenausscheidungen ziemlich constant; es werden im Harn täglich im Mittel 2,3144 g N ausgeschieden, also 68,48 g Fleisch im Körper der Versuchsthiere umgesetzt, 22 % weniger, als in der ersten Periode.

Für den Fettverbrauch lassen sich die Zahlen der zweiten Periode noch nicht verwerthen, weil ein grosser Theil der Rohfaser vom Organismus noch nicht resorbirt ist und die unverdaute und unverdauliche Rohfaser zum Theil sich noch im Darm befindet. Um sich von dem Fettverbrauch eine Vorstellung machen zu können,

muss man die 2. und 3. Periode zur Berechnung der zerstörten resp. aufgespeicherten Fettmenge zusammenziehen. Es ist allerdings, wie aus den Analysen des Kothes zu ersehen, auch am Schluss der 3. Periode noch ein kleiner Theil unverdaulicher Rohfaser im Darm enthalten, aber es lässt sich wohl mit Sicherheit annehmen, dass von diesem Theil nichts mehr vom Organismus resorbirt werden kann, und wir werden daher den C der rückständigen Rohfaser zum C der Ausgaben hinzuaddiren können, ohne dabei einen Fehler zu begehen. Zuerst wollen wir jedoch die Bilanz für die Stickstoffeinnahme und -Ausgabe für die 3. Periode vom 8.—14. November ziehen.

Es betragen die Einnahmen an N	23,71 g
„ „ „ Ausgaben „ N	24,69 „
Differenz	— 0,98 g

Oder wenn wir den N der Hornspäne auf beiden Seiten abziehen:

Einnahmen an N	18,96 g
Ausgaben „ N	19,94 „
Differenz	— 0,98 g

Es hat also hier wiederum ein Verlust an Körperfleisch stattgefunden und zwar sind 0,98 g N = 6,12 g Eiweiss = 28,8 g Fleisch vom Körper zugesetzt; täglich 4,1 g, während in der ersten Periode der Körper täglich 17,72 g Fleisch abgab. Es ist also im Vergleich mit Periode I eine Eiweiss sparende Wirkung der Rohfaser ersichtlich. Wenn wir die 3. Periode in der Tabelle näher verfolgen, so ist deutlich zu ersehen, dass innerhalb derselben der Stickstoffgehalt des Harnes steigt. Am 9. und 10. November wird soviel N ausgeschieden, wie in der 2. Periode (2,2728 g), während am 11. bis 15. November die N-Ausscheidung dieselbe Höhe erlangt, wie in der ersten Periode (2,9124 g). Während der beiden ersten Tage ist noch Rohfaser resorbirt worden, später nicht mehr.

Nachfolgende Zusammenstellung zeigt, nach dem Harnstickstoff berechnet, den Fleischverbrauch vom 23. October bis zum 15. November.

23.	October	88,55	Mittel 88,55. (23.–31. October)
24.	„	88,55	
25.	„	91,87	
26.	„	90,72	
27.	„	90,72	
28.	„	84,68	
29.	„	91,28	
30.	„	85,89	
31.	„	84,68	
1.	November	60,92	Mittel 68,48. (1.–8. November)
2.	„	60,92	
3.	„	68,61	
4.	„	68,61	
5.	„	68,17	
6.	„	68,17	
7.	„	73,58	
8.	„	78,94	
9.	„	67,25	
10.	„	67,25	
11.	„	85,27	Mittel 86,19 (11.–15. November)
12.	„	85,27	
13.	„	99,54	86,81 (13.–15. November)
14.	„	80,44	
15.	„	80,44	

Der Fleischverbrauch ist somit zuletzt nur unwesentlich verschieden von dem der ersten Periode.

Gehen wir nun zur Betrachtung der sämmtlichen Einnahmen und Ausgaben der Perioden 2 und 3 über, so erhalten wir folgende Zahlen:

Einnahmen:		C	N	Asche
In 7500 ccm Milch	256,25 Eiweiss	135,81	41,00	59,25
	318,78 Milchzucker [1])	127,51		
	309,34 Fett	236,64		
In 176 g Rohfaser		70,58	0,23	1,39
In 75 g Hornspänen		35.18	10,17	0,23
		605,72	51,40	60,87

1) Milchzucker war auch hier nicht direct bestimmt; es wurde der Gehalt desselben in der Milch aus dem Kohlenstoffgehalt, wie vorhin, berechnet. Die

Ausgaben:	C	N	Asche
In 6370 ccm Harn	39,82	37,63	36,74
„ 422 g Koth [1])	109,43	14,39	32,92
Respiration	485,09		
	634,34	52,02	69,66
Differenz:	— 28,62	— 0,62	— 8,79

Um den Gesammtverbrauch im Körper während der beiden Perioden zu bestimmen, muss man von den ausgeschiedenen Kohlenstoff- und Stickstoffmengen den Gehalt der Hornspäne an C und N in Abzug bringen. Ferner den C der ausgeschiedenen und noch im Darm verbliebenen unresorbirbaren Rohfaser und den C der in der Rohfaser enthaltenen Eiweissverbindungen, die als unverdaulich zu betrachten sind. Im Ganzen sind 74,68 g Rohfaser verdaut, es sind also 74,36 g Rohfaser als unresorbirbar zu betrachten. Dieselben enthalten 36,83 g Kohlenstoff. In Form unlöslicher Eiweisssubstanzen sind 0,76 g Kohlenstoff vorhanden, in den Hornspänen der 15 Tage 35,18 g. Im Ganzen sind also 72,77 g C von den Ausgaben in Abzug zu bringen, so dass der Gesammtverbrauch

---

ersten 9 Tage wurde die alte Milch mit 4,01 g Milchzucker in 100 ccm, die übrigen 6 Tage eine kohlenstoffreichere Milch mit 4,605 g Milchzucker in 100 ccm den Thieren gegeben. Daraus berechnet sich die Milchzuckergabe während der beiden Perioden zu 818,78 g.

Milch II. Analyse.

25 ccm mit Quarzsand eingedampft ergab eine Mischung von 24,3774 g Gewicht.

Zu N-Bestimmung 1,9888 g; gefunden 0,01102 N; 24,3774 = 25 ccm Milch = 0,13508 N; 100 ccm Milch = 0,5403 N = 3,377 g Eiweiss.

Zu C-Bestimmung 1,416 g; gefunden 0,3605 CO^2 = 0,0983 C; 24,3774 = 1,692 C; 100 ccm Milch = 6,768 g C.

Zu Fettbestimmung 3,2805 g; gefunden 0,1380 g Fett; 24,3774 = 1,025 g Fett; 100 ccm Milch = 4,10 g Fett.

500 ccm Milch 33,84 C { 8,95 in 16,885 g Eiweiss; 15,68 in 20,50 g Fett; 9,21 in 23,025 g Milchzucker; 33,84 }

1) Aus der Tabelle berechnet sich der Kohlenstoffgehalt des Kothes zu 106,70 g; es sind aber nach Ablauf der 3. Periode noch 5,523 g unverdaulicher Rohfaser mit 2,73 g C im Darm enthalten (bei einem Kohlenstoffgehalt von 49,44 %; vgl. weiter unten). Diese Zahl muss der Kohlenstoffausgabe durch den Koth hinzuaddirt werden: 106,70 + 2,73 = 109,43.

an C in Form von Körpern, die in das organisch Innere des Körpers eingedrungen waren, 561,57g beträgt; an Stickstoff sind, nach Abzug des N der Hornspäne und der Rohfaser, 41,60g ausgeschieden.

	C	N
Gesammtverbrauch	561,57	41,60
260g Eiweiss	137,80	41,60
74,68 „ Rohfaser	32,99 [1]	
318,78 „ Milchzucker	127,51	
344,15 „ Fett	263,27	

In der Nahrung bekamen die Versuchsthiere während der beiden Perioden 256,25g Eiweiss und 309,34g Fett, es waren daher 0,6g N = 3,75g Eiweiss = 17,93g Fleisch und 34,81g Fett von dem Körper abgegeben worden. Es ist also im Körper Folgendes vorgegangen:

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss resp. Fleisch am Körper		Milchzuck. zersetzt	Rohfaser zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	260	— 3,75	— 17,93	318,78	74.68	344,15	— 34,81
Per Tag	17,3	— 0,25	— 1,19	21,25	4,98	22,94	— 2,32

Ein Zuschuss von Eiweiss und Fett hat auch hier stattgefunden, aber in geringerem Maasse als in der ersten Periode, wo die Thiere täglich 17,72g Fleisch und 3,3g Fett von ihrem Körper zusetzen mussten. Dieser so per Tag berechnete Zuschuss von Fett und Fleisch vom Körper der Versuchsthiere entspricht aber dem wahren Thatbestande nicht. In Betreff des Körperfleisches wissen wir dieses aus der vorher besprochenen Tabelle, die uns zeigte, dass unmittelbar unter dem Einfluss der Rohfasergabe vom 1. bis 9. November ein Ansatz von Körperfleisch stattgefunden hat, dass ferner vom 10. November ab erst der Fleischverbrauch der nämliche geworden ist, wie in der ersten Periode. Etwas Aehnliches sind wir auch berechtigt für den Fettverbrauch anzunehmen, d. h. wir können mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass ebenso, wie vom 11. November an der Fleischverbrauch die Höhe des in der ersten Periode beob-

1) Die verfütterte Rohfaser enthielt, wie schon oben erwähnt, noch Spuren von Chlorophyll und anderen Stoffen, die bei der Darstellung einer so grossen Masse kaum zu entfernen waren. Mit den 176g Rohfaser waren im Ganzen 70,58g Kohlenstoff gegeben, während der C der verfütterten, reinen, 149,04g Rohfaser 68,05g betrug. Es waren also 2,55g C in andern Verbindungen zugegen gewesen und zwar 0,76g als unverdauliche Eiweissverbindungen. Die nachbleibenden 1,79g C in unbestimmbarer Form sind mit dem C der verdauten Rohfaser zuaddirt: 31,20 + 1,79 = 32,99.

achteten erreicht hat, dieses auch für den Fettverbrauch eingetreten ist, dass mit andern Worten, vom 10. November an der tägliche Fettverbrauch wieder 24g beträgt. Hiernach würde sich ergeben, dass vom 10. bis 14. November 120g Fett verbraucht, also 18,5g vom Körper abgegeben ist; an den übrigen, unter dem directen Einfluss der Rohfaser stehenden 10 Tagen musste der Körper den Rest von 16,31g Fett, pro Tag 1,631g Fett zuschiessen, wodurch die fettsparende Wirkung der Rohfaser noch deutlicher erscheint. Zu einem andern günstigeren Resultat in Betreff des Eiweiss- und Fettverbrauchs an den unter directem Einfluss der Rohfasergabe stehenden Tagen kam ich durch folgende Ueberlegung. Wir sehen vom 10. November an die Stickstoffausscheidung durch die Nieren bedeutend ansteigen und dieses berechtigt, ja zwingt uns zu der Annahme, dass mit diesem Tage die Resorption von Rohfaser ihr Ende erreicht hat. Demgemäss habe ich die Einnahmen und Ausgaben für die verlängerte Periode II bis zum 10. November, den Gesammtverbrauch und die tägliche Umsetzung während dieser Zeit berechnet und zum Vergleich dieselben Werthe für die Periode III vom 10. bis 14. November eruirt. Einigermaassen schwierig war die Berechnung der auf die so vertheilten Perioden entfallenen Stickstoff- und Kohlenstoffmengen im Koth. Dieselbe geschah in der Weise, dass von dem Gesammtkohlenstoffgehalt der Periode II und III der im Koth erschienene C der Rohfaser [1]) in Abzug gebracht wurde (109,43 — 37,59 = 71,84). Es wären also ohne Rohfaser im Koth 71,84g C ausgeschieden worden, d. h. per Tag 4,79g. Da die verlängerte Periode 10 Tage dauert, so gehören zu derselben 47,9g Kohlenstoff.

Unter der Voraussetzung, dass zu dieser Zeit die Resorption der Rohfaser beendet, also sämmtlicher C der unresorbirbaren Rohfaser hätte ausgeschieden sein können, berechnet sich die Kohlenstoffmenge des auf diese Periode entfallenden Kothes zu 85,49g:

$$47,9 + 37,59 = 85,49.$$

1) Es waren im Ganzen im Koth 74,363g Rohfaser ausgeschieden. Dieselbe enthielt 49,54% C, also waren 36,83g Kohlenstoff in der unresorbirbaren Rohfaser enthalten; ausserdem 0,76g C in unresorbirbarem Eiweiss der verfütterten Rohfaser: 36,83 + 0,76 = 37,59.

Die auf diese Periode entfallende Stickstoffmenge im Koth wurde so berechnet, dass zu der in der zweiten Periode ausgeschiedenen Stickstoffmenge der für 2 Tage der 3. Periode berechnete N im Koth hinzuaddirt wurde: 8,8011 + 1,596 = 10,40. Es gestalten sich daher die Einnahmen und Ausgaben folgendermaassen:

Einnahmen:		C	N
5000ccm Milch	171,80 Eiweiss	91,08	27,497
	203,65 Milchzucker	81,49	
	206,84 Fett	158,15	
176g Rohfaser		70,58	0,23
50g Hornspäne		23,45	6,78
		424,75	34,507
Ausgaben:			
In 4200ccm Harn		26,89	23,07
Im Koth		85,49	10,40
Respiration		316,71	
		429,09	33,47
	Differenz:	— 4,34	+ 1,04

Bei der Berechnung des Gesammtverbrauchs sind ebenfalls der C und N der Hornspäne und der unresorbirbaren Rohfaser in Abzug gebracht:

	C	N
Gesammtverbrauch	368,05	26,46
165,3 Eiweiss	87,65	26,46
203,65 Milchzucker	81,46	
Rohfaser	32,99	
216,89 Fett	165,95	

In der Nahrung haben die Versuchsthiere während dieser Zeit erhalten 171,8g Eiweiss und 206,84g Fett; es sind also 1,04g N = 6,5g Eiweiss = 30,5g Fleisch angesetzt und 10,05g Fett, per Tag 1,005g vom Körper abgegeben worden.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Zucker zersetzt	Rohfaser zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	165,3	+ 6,5	+ 30,6	203,65	74,68	216,89	— 10,05
Per Tag	16,5	+ 0,65	+ 3,06	20,36	7,47	21,69	— 1,005

Für die 3. Periode vom 10. bis 14. November erhält man folgende Bilanz:

		C	N
Einnahmen:			
In 2500 ccm Milch	84,42 Eiweiss	44,75	13,51
	115,15 Milchzucker	46,5	
	102,5 Fett	78,40	
In 25 g Hornspänen		11,73	3,39
		180,93	16,90
Ausgaben:			
	In 2170 ccm Harn	12,94	14,56
	Im Koth [1])	23,95	3,99
	Respiration	168,38	
	Summe	205,27	18,54
	Differenz:	— 24,34	— 1,65

Daraus berechnet sich der Gesammtverbrauch:

	C	N
Gesammtverbrauch	193,54	15,16
94,75 g Eiweiss	50,22	15,16
115,15 „ Milchzucker	46,05	—
127,15 „ Fett	97,27	—

In der Nahrung bekamen die Thiere 84,42 g Eiweiss und 102,5 Fett; verbraucht waren dagegen 94,75 g Eiweiss und 127,15 g Fett, also wurden 1,65 g N = 10,33 g Eiweiss = 48,5 g Fleisch und 24,65 g Fett; per Tag 2,06 g Eiweiss und 4,93 g Fett vom Körper zugesetzt.

Im Körper ist also Folgendes vorgegangen:

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Michzucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	94,75	— 10,33	— 48,5	115,15	127,15	— 24,65
Per Tag	18,95	— 2,06	— 9,7	— 23,03	25,43	— 4,93

Der Fettverbrauch in der so begrenzten Periode III ist ein etwas höherer, als der in der 1. Periode beobachtete. Eine zutreffende Erklärung hierfür zu geben ist nicht leicht; wahrscheinlich steht der grössere Fettverbrauch mit dem kleineren Eiweissverbrauch in Zusammenhang und ist dieses, wie es scheint, dem Umstande

1) 109,43 — 85,48 = 23,95.

zuzuschreiben, dass in dieser Periode eine andere Milch (2) gereicht werden musste.

Um den Nährwerth der Rohfaser mit dem des Zuckers vergleichen zu können, wurde in der nun folgenden 4. Periode vom 15. bis 18. November der früheren Fütterung täglich 11g Rohrzucker zugesetzt und wurde die vorgelegte Nahrung auch hier stets aufgezehrt. An zwei Tagen am 16. und 18. November wurden Respirationsbestimmungen gemacht. Die Ausgaben und Einnahmen gestalten sich folgendermaassen:

Einnahmen:		C	N
In 2000ccm Milch	67,55 Eiweiss	35,79	10,808
	92,1 Milchzucker	36,84	
	82,0 Fett	62,73	
In 44g Zucker		19,02	
In 20 „ Hornspänen		9,38	2,712
		163,76	13,520
Ausgaben:			
	In 1670ccm Harn	12,62	10,157
	Im Koth[1]) 83g	23,90	4,637
	Respiration	133,93	
		170,45	14,794
	Differenz:	— 6,69	— 1,27

Aus diesen Zahlen berechnet sich der Gesammtverbrauch, wobei wieder der C und N der Hornspäne in Abzug gebracht ist:

	C	N
Gesammtverbrauch	161,07	12,08
Eiweiss 75,5g	40,01	12,08
Rohrzucker 44	19,02	—
Milchzucker 92,1	36,84	—
Fett 85,22	65,20	—

In der Nahrung bekamen die Thiere 67,55g Eiweiss und 82,0g Fett; es hatte also der Körper 1,27g N = 7,95g Eiweiss = 37,4g Fleisch und 3,22g Fett verloren:

1) Aus dieser Periode berechnet sich die Ausgabe an C im Koth dieser Periode zu 26,12g, es sind aber in derselben noch 4,541g unverdauter Rohfaser von der früheren Fütterung mit 2,22g C enthalten. Diese Kohlenstoffmenge ist, da sie schon früher verrechnet ist, in Abzug gebracht.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Zucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	75,5	— 7,95	— 37,4	136,1	85,22	— 3,22
Per Tag	18,87	— 1,99	— 9,35	34,02	21,305	— 0,805

Der Fleischumsatz, nach dem Harnstickstoff berechnet, gestaltet sich in dieser 5. Periode, wie folgt:

Am 16. 78,83
„ 17. 78,83
„ 18. 71,43
„ 19. 71,43
} im Mittel 75,13

was einer Ersparniss von 15,3 % gleichkommt. In Bezug auf Ersparung von Eiweiss haben 22 g Rohfaser mit 11,02 verdaulicher, resp. verdauter Rohfaser (vgl. weiter unten) mehr geleistet, als 11 g Zucker (22 % gegen 15,3 %); dagegen ist hier der Fettzuschuss ein kleinerer gewesen, als dort. Dieses Ergebniss fordert jedenfalls zu weiteren Versuchen in dieser Richtung auf.

In der nun folgenden Periode sollte der Einfluss einer starken Zuckerration auf die Zersetzung im Körper beobachtet werden; leider erstreckt sich dieser Versuch nur über 3 Tage, weil das eine Thier am 23. November die Aufnahme des Futters hartnäckig verweigerte. Es wurde daher der Versuch unterbrochen und das andere Thier zu einem gleich zu beschreibenden Versuch benutzt. Zucker war im Harn nicht nachzuweisen; eine ziemliche Steigerung zeigte die Kohlensäureausscheidung durch die Lunge (12 %). Die Stickstoffausscheidung zeigte im Vergleich mit der der vorigen Periode keine wesentliche Aenderung. Der Fleischumsatz, aus dem N des Harnes berechnet, ist, wie die folgenden Zahlen zeigen, fast derselbe geblieben:

Am 20. 78,80
„ 21. 78,80
„ 22. 72,08
} im Mittel 76,56

Die Einnahmen und Ausgaben zeigen folgende Verhältnisse:

Einnahmen:			C	N
Milch 1500 ccm	50,68 g	Eiweiss	26,84	8,11
	69,07 g	Milchzucker	27,63	
	61,5	Fett	47,55	
99 g Zucker			42,79	
15 g Hornspäne			7,04	2,03
		Summe	151,35	10,14

Ausgaben:		C	N
1280 ccm	Harn	10,216	7,83
46 g	Koth [1])	12,70	2,379
Respiration		111,48	
	Summe	134,39	10,21
	Differenz:	+ 16,96	— 0,07

Der Gesammtverbrauch ist nach Abzug des C und N der Hornspäne:

	C	N
Gesammtverbrauch	127,35	8,18
Eiweiss 51,12	27,10	8,18
Milchzucker 69,07	27,63	
Rohrzucker 99	42,79	
Fett 39,0	29,83	

In der Nahrung bekamen die Thiere 50,68 g Eiweiss und 61,5 g Fett; es hatte also der Körper 0,07 g N = 0,44 g Eiweiss = 2,06 g Fleisch zugesetzt, es sind dagegen 22,5 g Fett zum Ansatz gelangt, doch ist dieses Resultat mit Reserve aufzunehmen.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Zucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	51,12	— 0,44	— 2,06	168,07	39,0	+ 22,5
Per Tag	17,04	— 0,15	— 0,7	56,02	13,0	+ 7,5

Unter dem Einfluss der starken Zuckerration war nahezu das Stickstoffgleichgewicht eingetreten; es hat dagegen eine starke Aufspeicherung von C stattgefunden. Die Periode war leider zu kurz, um auf dieselbe sichere Schlüsse bauen zu können, namentlich in Anbetracht dessen, dass in dieser Periode die Kothentleerung viel geringer war, als in sämmtlichen früheren Perioden. Die N-Ausscheidung durch den Harn zeigt, dass eine Verminderung des Eiweissumsatzes nicht stattgefunden hat; wenn trotzdem bei Berechnung des Eiweissumsatzes aus den sämmtlichen N-Ausgaben eine Verminderung sich gezeigt hat, so hat dieses auch seinen Grund in der geringen Kothmenge, die auf diese Periode entfallen ist. Aus diesen Gründen ist das Resultat dieser Versuchsreihe kein sicheres.

1) Gefunden wurde im Koth dieser Periode 13,18 g C; davon muss der C-Gehalt der im Darm noch befindlichen 0,982 g Rohfaser in Abzug gebracht werden. 13,18 — 0,48 = 12,70.

Der leichteren Uebersicht wegen will ich die Hauptresultate der Versuche noch einmal tabellarisch zusammenstellen:

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch am Körper		Milchzucker	Rohrzucker	Summe	Rohfaser zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
				zersetzt					
P. I per Tag 22.—30. Oct.	20,96	— 3,74	— 17,72	20,07	—	20,07	—	24,0	— 3,3
P. II per Tag 31.—9. Nov.	16,50	+ 0,65	+ 3,06	20,36	—	20,36	7,47	21,69	— 1,005
P. III per Tag 10.—14. Nov.	18,95	— 2,06	— 9,7	23,03	—	23,03	—	25,43	— 4,93
P. IV per Tag 15.—18. Nov.	18,87	— 1,99	— 9,35	23,03	11,0	34,03	—	21,305	— 0,805
P. V per Tag 19.—21. Nov.	17,04	— 0,15	— 0,7	23,03	33,0	56,03	—	13,0	+ 7,5

und wiederhole ich nochmals, dass das Ergebniss der letzten Periode vom 19. bis 21. November nur mit Reserve aufzunehmen ist.

Es bleibt noch übrig, die Verdaulichkeitsverhältnisse der verfütterten Rohfaser näher zu besprechen. Gleichzeitig untersuchte ich die Verdaulichkeit des Milchfettes und den Einfluss der starken Rohfasergabe auf die Ausnutzung desselben. Die Verdauungscoefficienten für die N-haltigen Bestandtheile der Milch lassen sich auch leicht berechnen, da die Hornspäne, wie ich mich durch einen eigens dazu angestellten Versuch [1]) davon überzeugt habe, im Organismus keinerlei Veränderung erfahren, im Koth sämmtlich ausgeschieden werden.

---

1) Einem Kaninchen, welches schon seit dem 3. Januar zu einem Versuch über die Verdaulichkeit der Schnittkohl- und Heurohfaser gedient hatte und seit dem 13. März täglich:

15 g Fleischmehl
10 „ Zucker
2 „ Hornspäne
108 ccm Milch und
30 „ Wasser

erhalten hatte, dabei auf eine constante N- und S-Ausscheidung gelangt war, wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen die Hornspäne entzogen. Es gestalteten sich die Ausgaben folgendermassen:

Wie schon aus dem Früheren zu entnehmen und auch schon durch die Arbeiten Weiske's bekannt, dauert es bei den Pflanzenfressern ziemlich lange, bis die letzten Reste einer früheren Fütterung den Darm verlassen haben; demgemäss finden wir noch im Koth der 5. Periode vom 21. November Reste von der mit dem 8. November beendeten Rohfaserfütterung. In dem am 23. November ausgeschiedenen Kothe war keine Rohfaser mehr nachweisbar.

Im Ganzen waren 149,04g N- und aschefreie Heurohfaser gegeben worden und wurden in den einzelnen Perioden folgende Mengen ausgeschieden:

Periode II	50,966
„ III	17,874
„ IV	4,541
„ V	0,982
Summe	74,363 [1])

es waren also 50,11 % verdaut und zeigt die folgende Zusammenstellung die procentische Zusammensetzung der verfütterten, verdauten und unverdaulichen Rohfaser:

	ursprünglich	verdaut	unverdaulich
C	45,73	41,79	49,54
H	5,64	5,23	6,05
O	48,63	52,98	44,41
	100,00	100,00	100,00

Wie stellt sich nun das Verdauungsvermögen des Kaninchens für die übrigen Nährstoffe des Futters und namentlich unter dem Einfluss einer so starken Rohfasergabe? Was die Rauhfutterarten

	In den Hornspänen		Im Harn	
	N	S	N	S
21. März mit Hornspänen	0,2712	0,0678	1,3424	0,0827
22. „ „ „	0,2712	0,0678	1,3238	
23. „ ohne Hornspäne			1,3718	0,0706
24. „ „ „			1,3354	0,0751
25. „ mit Hornspänen	0,2712	0,0678	1,3536	0,0631

Die N- und S-Ausscheidung im Harn veränderte sich in Folge einer Zugabe von Hornspänen, wie ersichtlich, nicht.

1) Zur Controle der Rohfaserbestimmung in den Ausscheidungen wurde noch eine Bestimmung gemacht und zwar wurde von dem Koth jeder Periode der fünfzigste Theil genommen. Die so gewonnene Probe von 6,952g Koth enthielt 1,4653g N- und aschefreie Rohfaser, also waren hiernach im Gesammtkoth 73,26g Rohfaser enthalten. Mit diesem Resultat konnte ich mich in Anbetracht der Schwierigkeit der Rohfaserbestimmung vollständig zufrieden geben.

anbetrifft, so wissen wir aus zahlreichen Untersuchungen, dass je mehr in denselben der Proteingehalt bei gleichzeitigem Fallen des Rohfasergehaltes steigt, desto mehr von allen Nährstoffen im Körper der Pflanzenfresser ausgenutzt wird, mit andern Worten, dass durch sticksofffreie Beifutter im Allgemeinen eine Depression [1]) der Verdauung hervorgerufen wird.

So wird durch eine Beigabe von Stärke, Zucker die Verdaulichkeit des Eiweisses, Fettes der Nahrung herabgedrückt und tritt diese Depression schon ein, wenn an N-freien Stoffen 15 % der Heutrockensubstanz zugelegt wird, um bei weiterer Zulage an denselben Stoffen noch weiter gesteigert zu werden. Stohmann fand z. B., dass eine Zugabe von Stärke, Zucker oder Gummi von 15 % der Gewichtsmenge des Hauptfutters eine Verdauungsdepression im Betrage von 8 bis 9 % des sonst verdaulichen Eiweisses bewirkt habe; bei einer Zugabe von Stärke und Zucker von 80 % der Heutrockensubstanz betrug die Verdauungsdepression für die Eiweissstoffe sogar 40 %. Bei einem engen Nährstoffverhältniss im Hauptfutter wird allerdings die Depression mehr oder weniger vermindert, keineswegs aber ganz aufgehoben.

Das in der Milch bestehende Nährstoffverhältniss ist 1 : 4,4, also ein für den Pflanzenfresser sehr enges. Die Zugabe an Rohfaser betrug in dem besprochenen Versuch 30,7 % der Trockensubstanz des Hauptfutters, ein Verhältniss, bei welchem die Depression in der Verdauung der Proteinstoffe, wie wir gesehen haben, schon eine sehr bemerkbare Höhe erreicht.

Da der Stickstoff der Hornspäne sämmtlich in dem Koth der Versuchsthiere erscheint, so müssen wir zur Bestimmung der Ausnutzung der Eiweissstoffe den Stickstoff der Hornspäne in Abzug bringen. In der Periode I vom 22. bis 30. October wurden im Koth

1) Neuerdings ist namentlich von O. Kellner die Ansicht ausgesprochen, dass die Depression in der Verdauung der Eiweissstoffe möglicherweise nur eine scheinbare sei. Die vermehrte Trockensubstanz des Futters und Kothes soll eine vermehrte Ausscheidung von N-haltigen Stoffwechselproducten veranlassen. Da wir nun bis jetzt nicht im Stande waren, oder es vielmehr noch nicht sind, den N der Stoffwechselproducte von dem der unverdauteu Eiweissstoffe im Kothe scharf zu trennen, so wurde aus dem Gesammtgehalt an N im Koth durch Multiplication mit dem Factor 6,25 die unverdaute Eiweissmenge berechnet.

im Ganzen 9,3495 g N ausgeschieden, 6,102 g sind in den im Koth enthaltenen Hornspänen enthalten, so dass 3,2475 g N als Ueberreste der Nahrung und als den Stoffwechselproducten angehörend anzusprechen sind. Ueber die Menge der letzteren wissen wir zur Zeit noch so wenig, dass sie bei der Rechnung ausser Spiel gelassen werden müssen. Es berechnet sich daher die Verdaulichkeit der Eiweissstoffe in der 1. Periode zu 86,91 %. In der Periode II vom 31. October bis zum 7. November waren im Koth 8,8071 g N ausgeschieden, hiervon sind 5,654 g, als aus den Hornspänen und der verfütterten Rohfaser stammend, in Abzug zu bringen. Die Eiweissstoffe der Milch sind zu 85,7 % verdaut. In der III. Periode berechnet sich die Ausnutzung derselben zu 95,6 % und in der IV. Periode zu 82,2 %.

Weitgehende Schlüsse lassen sich aus diesen Zahlen nicht ziehen, jedenfalls scheint aber die verhältnissmässig grosse Rohfasergabe die Ausnutzung der Eiweissstoffe kaum beeinflusst zu haben, ferner scheinen die Kaninchen überhaupt nicht fähig zu sein, die Eiweissstoffe der Milch sehr gut zu verwerthen, oder sie scheiden ziemlich viel N-haltige Stoffwechselproducte aus [1]).

Die Ausnutzung des Milchfettes ist eine relativ viel bessere und ist sowohl in der Periode II als IV eine, wenn auch geringe, doch deutliche Depression wahrnehmbar und zwar haben 22 g Rohfaser die Fettausnutzung mehr erniedrigt als 11 g Zucker.

Das Fett wurde verdaut:

in Periode	I	zu	98,22 %
„ „	II	„	96,06 „
„ „	III	„	98,57 „
„ „	IV	„	97,83 „

Periode V ist zur Berechnung der Verdauungscoefficienten aus früher schon genannten Gründen nicht hinzugezogen worden.

1) Dass die kleinen, mit einem Schleimüberzug versehenen Kothballen der Kaninchen verhältnissmässig reich an N-haltigen Stoffwechselproducten und Epithelien zu sein scheinen, geht aus einer demnächst zu veröffentlichenden Arbeit eines meiner Schüler, C. Koch, hervor, der, um die Menge dieser Stoffe zu bestimmen, Kaninchen mit N-freier Rohfaser und Zucker fütterte; der vollständig weisse, keine Ueberreste früherer Nahrung mehr zeigende Koth enthielt bei mehreren Versuchen immer noch 1 % N.

Das Kaninchen I aus den bisher besprochenen Versuchen, welches die starke Zuckerration vollständig verzehrte, wurde vom 22. November an allein zu einem Versuch über die Einwirkung einer Zulage von Fett auf den Gesammtstoffwechsel benutzt.

Als Normalfutter wurde wieder Milch und zwar 300 ccm Milch, 3 g Hornspäne und 25 ccm Wasser gereicht.

Die von jetzt an gegebene Milch hatte folgende Zusammensetzung:

5,884 % C, 0,644 % N, 1,907 % Fett, 5,728 % Milchzucker.

Auch hier wurde der Milchzuckergehalt aus dem C der Milch wie oben berechnet.

Wie die Analyse mich, leider erst zu spät, lehrte, war die Milch halb entrahmt gewesen und in Folge dessen wurde von dem Thier mehr Fett, als für das Resultat des Versuches lieb war, abgegeben.

Bis zum 28. November wurde diese Nahrung verabreicht und täglich verzehrt. Die Tabelle zeigt die näheren Verhältnisse:

Datum	Hauptfutter	Beifutter	N der Nahrung	C der Nahrung	Harnmenge ccm	Kothmenge g	N des Harns	C des Harns	N des Kothes	C des Kothes	CO_2 Ausscheidung	Körpergewicht
Novbr. 22.	300 ccm Milch, 3 g Hornspäne, 25 ccm Wasser	18 g Zucker			250	1						
23.	do.		2,339	19,059	250	6	1,3456					2310
24.	do.		do.	do	500	19	3,6018	10,816 g per Tag 1,0896	3,536 g per Tag 0,5893	15,9 g per Tag 2,65		
25.	do.		do.	do.								2340
26.	do.		do.	do.	490	23	3,549					
27.	do.		do.	do.								2290
28.	do.		do.	do.	490	6	3,9285				68,75 = 18,74 C	
29.	do.	4 g Schmalz	do.	22,089		1						2300
30.	do.	do.	do.	do.	500	30	3,6801	6,9652 g per Tag 1,7413	2,889 g per Tag 0,722	13,27 g per Tag 3,3		
Decbr. 1.	do.	do.	do.	do.							70,022 = 19,09 C	2290
2.	do.	do.	do.	do.	540	22	4,3804					
3.	do.		do.	19,059								2170

Aus derselben berechnet sich die Bilanz für die I. Periode folgendermassen:

Einnahmen:		C.	N.
1800 ccm Milch	72,45 Eiweiss	38,412	11,59
	103,10 Milchzucker	41,256	
	33,62 Fett	26,244	
18 g Hornspäne		8,442	2,44
	Summe	114,354	14,03
Ausgaben:			
1480 ccm Harn		10,816	11,07
49 g Koth		15,9 •	3,536
Respiration		112,44	
	Summe	139,156	14,606
	Differenz:	— 24,802	— 0,576

Daraus ergibt sich der Gesammtverbrauch im Körper, wenn wir den C und N der verfütterten Hornspäne in Abzug bringen:

	C	N
Gesammtverbrauch	130,714	12,166
in 76,04 Eiweiss	40,31	12,166
„ 103,10 Milchzucker	41,256	
„ 64,24 Fett	49,148	

In der Nahrung bekam das Thier während der Periode 72,45 Eiweiss und 33,62 g Fett, so dass 3,59 g Eiweiss = 16,81 g Fleisch und 30,62 g Fett vom Körper abgegeben wurden:

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch vom Körper		Milchzucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett vom Körper
Im Ganzen	76,04	— 3,59	— 16,81	103,10	64,24	— 30,62
Per Tag	12,67	— 0,598	— 2,801	17,18	10,707	— 5,103

Vom 29. November bis zum 2. December wurden dem Futter täglich 4 g aus Butter bereitetes Schmalz zugesetzt und auch willig aufgezehrt, mehr wagte ich leider nicht zu geben[1]), da Pflanzenfresser Fett in grossen Mengen bekanntlich nicht vertragen.

Einnahmen und Ausgaben während dieser Periode balanciren wie folgt:

1) Wenn die Milch den normalen Gehalt an Fett (ca. 4%) enthalten hätte, wie ich damals vermuthete, so wären mehr als 4 g Fett von dem Thier entschieden nicht willig aufgenommen worden. Aus Mangel an Zeit war die Fettbestimmung etwas aufgeschoben worden.

Einnahmen:		C	N
1200 ccm Milch	48,30 Eiweiss	25,61	7,73
	68,74 Milchzucker	27,50	
	22,88 Fett	17,50	
16 g Schmalz 15,84 Trockensubstanz		12,12	
12 g Hornspäne		5,63	1,63
	Summe	88,36	9,36
Ausgaben:			
1040 ccm Harn		6,965	8,06
52 g Koth		13,27	2,89
Respiration		76,36	
	Summe	96,595	10,95
	Differenz:	— 8,235	— 1,59

	C	N
Daraus der Gesammtverbrauch	90,965	9,32
in 58,25 Eiweiss	30,87	9,32
„ 68,74 Milchzucker	27,50	
„ 42,61 Fett	32,595	

Erhalten hatte das Thier 48,30 g Eiweiss und 38,72 g Fett, also 9,95 g Eiweiss = 46,586 Fleisch und 3,89 g Fett vom Körper zugesetzt.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch vom Körper		Milchzucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett vom Körper
Im Ganzen	58,25	— 9,95	— 46,586	68,74	42,61	— 3,89
Per Tag	14,56	— 2,49	— 11,646	17,18	10,65	— 0,97

Unter dem Einfluss der kleinen Fettzulage ist die Eiweisszersetzung beinahe um 2 g täglich vermehrt worden. Dieses Resultat steht nicht vereinzelt da, schon Voit [1]) hat beobachtet, dass unter Umständen durch Fettzulage zum Futter die Eiweisszersetzung eine Steigerung erfährt.

Namentlich scheint dieses der Fall zu sein, wenn geringe Gaben von Eiweiss den Thieren gereicht werden. Bei mittleren Eiweiss-

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 9, S. 20:

b. Fütter. v. 1500 g Fleisch u. 30 g Fett wurden	1457 g Fleisch zersetzt,	43 g angesetzt,
60 g „	1501 g „	1 g abgegeb.;
b. Fütter. v. 500 g Fleisch u. 100 g „	491 g „	9 g angesetzt,
200 g „	517 g „	17 g abgegeb.

gaben fand Voit ein Gleichbleiben, bei grossen Eiweissgaben stets eine Herabsetzung des Eiweissumsatzes[1]).

Bei unserem Versuch ist die Fettzersetzung ganz dieselbe geblieben, es haben also die verfütterten 15,84g Fett ebenso viel Fett vor der Zersetzung bewahrt.

Die Verdaulichkeit des Eiweisses berechnet sich in Periode I zu 90,55 %
" " " " " " " " II " 83,72 "
Das Fett wird in Periode I " 95,32 "
" " " " " II " 92,74 " verdaut.

Durch einen weiteren Versuch sollte geprüft werden, ob bei einer beinahe vollständig fettfreien Nahrung die Rohfaser im Stande sei, für das Fett, resp. Kohlehydrat einzutreten.

Es wurden zu diesem Zweck 3 Kaninchen am 24. October in die Käfige gesetzt und folgendermaassen pro Kopf und Tag gefüttert:

15g getrocknetes Eieralbumin,
5 " Fleischextract,
10 " Zucker,
2 " Hornspäne,
225ccm Wasser.

Die Kothentleerungen waren bei diesem Futter sehr weich und unregelmässig, es wurde daher, weil die löslichen Salze des Fleischextractes diesen Uebelstand vermuthlich veranlassten, vom 30. October an jedem Thier nur 1g Fleischextract gegeben. Ausserdem bekam von jetzt an jedes Thier noch per Tag 0,25g Heuasche.

Doch trat auch jetzt noch dazwischen weicher Koth auf, welcher Uebelstand dadurch beseitigt wurde, dass vom 3. November an die Hornspäne vermahlen wurden und jedes Thier in der täglichen Ration 3g derselben bekam.

Doch wurden die Thiere bei dieser Nahrung allmählich so schwach, dass am 11. November 2 Thiere ausgeschaltet werden mussten. Mit dem 3. Thier wurde vom 12. November an der eigentliche Versuch begonnen; in derselben Art wie früher wurde der Harn und Koth gesammelt und 2 Respirationsbestimmungen gemacht.

---

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 5 S. 353.

Am 16. November wurde der Zucker entzogen und statt dessen 40g feuchte = 7,04g trockene N-freie Kohlrohfaser dem Thier vorgesetzt, dasselbe verweigerte aber hartnäckig das Fressen und so musste auch dieses Versuchsthier in Freiheit gelassen werden. Ohne weiter die Tabelle über diesen Versuch zu geben, will ich nur erwähnen, dass das Thier im Mittel per Tag in Periode I 2,256g N ausschied und die Respirationsgrösse sich am 12. November auf 44,789 CO_2 = 12,206 C, am 15. November auf 45,28g CO_2 = 12,35 C belief.

An Stelle dieses wurde ein Kaninchen, welches zu dem früher schon beschriebenen Verdauungsversuch mit Kohlblättern gedient hatte, vom 23. November an mit Albumin gefüttert und betrug die Nahrung vom 26. November an:

15,0g Albumin [1]),
1,5 „ Fleischextract [2]),
10,0 „ Zucker [3]),
0,3 „ Heuasche,
3 „ Hornspäne,
250ccm Wasser.

1) Das Eieralbumin enthielt in 100 Theilen:

Wasser	13,950
C	43,240
H	5,943
N	12,420
O	19,444
Salze	4,913
Sand	0,090
	100,000

In 100 Theilen wasser- und aschefreier Substanz:

C	52,54
H	7,27
N	15,20
O	24,99
	100,000

In der ursprünglichen Substanz waren 0,304 % in Aether lösliche Stoffe. Daher bekam das Thier in 15g täglich 1,863g N, 6,41g C, 0,0456g Fett und 12,111g trocknes aschefreies Eiweiss.

2) Das Fleischextract enthielt in 100 Theilen:

Wasser	17,79
C	29,58
N	8,48

und 2,53 % in Aether lösliche Substanzen. Es wurden daher in 1,5g täglich gegeben 0,127g N, 0,443 C und 0,038 in Aether lösliche Substanz.

3) Der Zucker enthielt 43,23 % C. Das Thier bekam daher in 10g Zucker 4,323g C.

In der I. Periode sollten täglich 10g Zucker, in der II. Periode statt dessen 20g Rohfaser und dann wieder 10g Zucker gegeben werden, um das Aequivalentverhältniss, oder wie Rubner es neuerdings genannt hat, das isodyname Verhältniss zwischen Zucker und Rohfaser festzustellen.

Die früher verfütterte Heurohfaser stand mir nicht mehr zur Verfügung, und musste ich daher 10g aus Kohlblättern und 10g aus Sägespänen dargestellte Rohfaser anwenden.

Wie wir später sehen werden, wurde die Rohfaser nur zu einem sehr geringen Theil verdaut und hatte der Versuch in Folge dessen nicht das gewünschte Resultat; ob dieser Umstand in der Beschaffenheit [1]) der Rohfaser seinen Grund hatte, oder die fast ganz fettfreie Nahrung die Verdauungsfähigkeit des Thieres so herabgedrückt hatte, lässt sich nicht entscheiden; für die letztere Auslegung spricht allerdings der rasche Abfall der Kräfte aller Versuchsthiere, welche diese Nahrung erhielten.

Vom 29. November an wurde der Harn und Koth gesammelt und bis zum 11. December 5 Respirationsbestimmungen gemacht.

Das Futter wurde regelmässig aufgezehrt und gestalteten sich, wie die nebenstehende Tabelle zeigt, die Ausgaben ziemlich gleichmässig.

Für die 5 Tage der ersten Periode ergibt sich folgende Stoffwechselbilanz:

Einnahmen:	C	N
75g Albumin	32,430	9,315
7,5g Fleischextract	2,218	0,635
50g Zucker	21,615	—
15g Hornspäne	7,035	2,034
Summe	63,298	11,984

1) Die aus den Kohlblättern dargestellte Rohfaser war wohl von ganz besonders zäher Beschaffenheit; von der frischen Rohfaser derselben Kohlblätter hatte dasselbe Kaninchen, wie wir schon gesehen haben, 77,99 % verdaut. Die Sägespäne-Rohfaser wurde, wie ein auch schon mitgetheilter Versuch darthut, von einem anderen Kaninchen zu 20,49 % verdaut.

Ausgaben:		
1150 ccm Harn	11,136	11,909
64 g Koth	20,740	5,618
Respiration	52,380	—
Summe	84,256	17,527
Differenz:	— 19,958	— 5,543

Aus diesen Zahlen berechnet sich der Gesammtverbrauch, wenn man den C und N der Hornspäne und des Fleischextractes, da letzteres den Körper ohne weitere Nährwirkung im Harn verlässt, in Abzug bringt, folgendermaassen:

	C	N
Gesammtverbrauch	75,003	14,858
in 95,199 g Eiweiss [1])	50,790	14,858
„ 50 g Zucker	21,615	—
„ 3,39 g Fett	2,598	—

(Siehe Tabelle auf S. 126.)

Erhalten hatte das Thier 60,555 g Eiweiss, ausserdem 0,2265 g fettähnliche in Aether lösliche Substanz. (Die im Fleischextract gegebenen 0,189 g in Aether löslichen Stoffe sind natürlich nicht mit in Rechnung gezogen.)

Das Thier hatte also 34,644 g Eiweiss und 3,164 g Fett vom Körper abgegeben.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch vom Körper		Zucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett am Körper
Im Ganzen	95,2	— 34,644	— 162,20	50	3,39	— 3,164
Per Tag	19,04	— 6,929	— 32,44	10	0,678	— 0,633

Es ist die Eiweisszersetzung eine sehr bedeutende, pro Kilo Thier [2]) in 24 Stunden 11,4 g Eiweiss, während bei allen früheren Versuchen pro Kilo 4,6—6 g Eiweiss zersetzt wurden. Fett ist dagegen

1) Da das wasser- und aschefreie Eiereiweiss 15,20 % N und 52,54 % C enthält, der Factor also 6,50, nicht 6,25, wie gewöhnlich angenommen, ist, so habe ich die gereichten 60,555 g trocknes Eiweiss mit 9,315 g N und 32,43 g C verrechnet, aus dem Rest an N das Eiweiss mit Hülfe des Factors 6,25 und aus diesem den C berechnet. 14,858 N — 9,315 N = 5,543 N × 6,25 = 34,644 Eiweiss, 100 Eiweiss = 53 C; 34,644 = 18,36 C; 32,43 + 18,36 = 50,79 C; 60,555 g Eiweiss + 34,644 = 95,199 g Eiweiss.

2) Das mittlere Lebendgewicht in dieser Periode ist 1670 g.

Datum	Hauptfutter	Beifutter	N der Nahrung	C der Nahrung	Harnmenge ccm	N des Harns	C des Harns	Kothmenge gr	N des Kothes	C des Kothes	CO_2 und C durch Athmung	Körpergewicht gr
[1]) Novbr. 28.	15g Albumin, 1,5g Fleischextract, 3,0g Hornspäne, 0,3g Heuasche, 250g Wasser	10g Zucker	2,397	12,6596								
29.	do.	do.	do.	do.	240	4,34	11,156g per Tag 2,2272g	13	5,618g per Tag 1,1236g	20,74g per Tag 4,148g	48,001 CO_2 = 13,09 C	1780
30.	do.	do.	do.	do.	240			20				1690
Decbr. 1.	do.	do.	do.	do.								
2.	do.	do.	do.	do.	470	5,046		28			48,06 CO_2 = 13,10 C	1620
3.	do.	10g Sägespäne, 10g Kohlblätterrohfaser	2,155	[2]) 14,355	200	2,523		8				1590
4.	do.	do.	do.	do.	200	6,313	14,2212g per Tag 3,5553g	5	3,593g per Tag 0,8982g	33,144g per Tag 8,286g	40,13 CO_2 = 10,94 C	
5.	do.	do.	do.	do.	190			42			37,25 CO_2 = 10,16 C	1620
6.	do.	do.	do.	do.	400	7,38		62				
7.	do.	10g Zucker	2,397	12,6595								1600
8.	do.	do.	do.	do.	480	5,636	9,02g per Tag 2,254g	17	0,993g per Tag 0,248g	9,658g per Tag 2,414g		
9.	do.	do.	do.	do.								1470
10.	do.	do.	do.	do.							41,47 CO_2 = 11,31 C	
11.	do.				450	4,888		8				1374
12.					300	2,8422	2,641					1284

pro Kilo Thier nur 0,4g per Tag zersetzt, bei den früheren 4—5g, so dass 5—7 Eiweiss für 3,6—4,6g Fett eingetreten sind.

In Form von CO_2 wurden hier pro Kilo 7,7g, früher 6,95g C abgegeben; die Respirationsgrösse war also nahezu die nämliche.

1) Vom 28. November an wurde diese Nahrung täglich gereicht.

2) In der gereichten Nahrung war mehr N und C enthalten, es ist der N und C des Futterrückstandes in Abzug gebracht und die Einnahme für alle Tage gleichmässig berechnet.

Trotzdem dass das Thier täglich ebensoviel N in der Nahrung bekam, wie das grössere Thier, welches zum Schmalzversuch gedient hatte (1,932 gegen 1,990g N), war der Zuschuss von Seiten des Körpers hier ein bedeutend grösserer und hat dieses seinen Grund einestheils in der Fettarmuth der Nahrung und des Thieres und in der geringen Verdaulichkeit des Albumins.

In der 2. Periode, welche vom 3. bis 6. December dauerte, wurden die 10g Zucker durch je 10g Sägespäne- und je 10g Kohlblätterrohfaser [1]) ersetzt.

Das Nähere zeigt die Tabelle. Am 4. und 6. December befand sich das Thier im Respirationskasten, und war in dieser Periode die CO_2-Abgabe auffallend gering. Während der 4tägigen Periode wurde leider nicht alles Futter verzehrt. Es waren im Ganzen 15,1g Trockensubstanz mit 7,24g C, 0,96g N und 8,46g Rohfaser als Rückstand verblieben.

Da das Futter einen sehr gleichmässigen Brei darstellte, so wurden in dem Rückstand die einzelnen Nahrungsmittel, mit Ausnahme der Rohfaser, als in unverändertem Verhältniss zu einander angenommen. Da 15,1g Trockensubstanz mit 8,46g Rohfaser zurückgeblieben waren, so vertheilen sich die rückständigen 6,64g auf:

5,95g Albumin [2]),
1,19 „ Hornspäne,
0,60 „ Fleischextract.

Wenn man ferner den C- und N-Gehalt der so berechneten einzelnen Futtermittel mit dem direct gefundenen C und N vergleicht, so kommt man unter der Voraussetzung, dass die zurückgebliebene Rohfaser zu gleichen Theilen aus beiden Rohfaserarten besteht, zu dem Resultat, dass die vorige Annahme berechtigt war, denn die Zahlen stimmen fast absolut mit einander überein.

---

1) Die verfütterten 40g Sägespäne-Rohfaser enthielten 33,24g Trockensubstanz mit 50,66 % C.
„ „ 40g Kohlblätter-Rohfaser „ 32,52g Trockensubstanz mit 44,9 % C.

2)
5,95 Albumin im Zustande, wie es verfüttert wurde	= 5,119g	Trockensubst.
1,19 Hornspäne „ „ „ „ „	= 1,029	„
0,60 Fleischextract „ „ „ „ „	= 0,493	„
Summe	6,641g	Trockensubst.

		C	N
8,46g	Rohfaser	4,04	—
5,95g	Albumin	2,57	0,74
1,19g	Hornspäne	0,558	0,161
0,60g	Fleischextract	0,177	0,051
		7,345	0,952

Bei der directen C- und N-Bestimmung wurden 7,24g C und 0,96g N gefunden.

Bei Berechnung der Stoffwechselgleichung tritt hier wieder der Uebelstand ein, dass bei Abschluss der Periode im Verdauungskanal sich eine grosse Menge unverdauter Rohfaser befindet. Es kann jedoch der C derselben dem C der Ausgaben, ohne einen grossen Fehler zu begehen, direct zuaddirt werden und zwar deshalb, weil die Rohfaser, wie wir später sehen werden, zu einem sehr geringen Theil verdaut wurde, daher der nach Ablauf der Periode noch resorbirbare Antheil gegenüber der unverdaulichen Rohfaser sehr zurücktritt.

Es sind am Ende der Periode in dem Verdauungskanal noch 16,29g Rohfaser mit 7,78 C enthalten.

Wenn wir daher zu den Ausgaben den C der rückständigen Rohfaser hinzuaddiren, so können wir uns ein Bild von den Zersetzungsvorgängen im Körper des Kaninchens machen.

Von den Einnahmen müssen natürlich die zurückgelassenen Mengen abgezogen werden.

	Einnahmen:	C	N
54,05	Albumin (60—5,95)	23,37	6,71
5,40	Fleischextract (6—0,6)	1,59	0,45
28,29	(32,52—4,23) Kohlrohfaser	12,70	—
29,01	(33,24—4,23) Sägespänrohfaser	14,69	—
10,81	(12—1,19) Hornspäne	5,07	1,46
	Summe	57,42	8,62

Ausgaben:

790 ccm	Harn	14,22	13,693
109 g	Koth + 16,29 g Rohfaser	40,92 [1])	3,593
	Respiration	42,20	—
	Summe	97,34	17,286
	Differenz:	— 39,92	— 8,666

Um hier den Gesammtverbrauch an C und N zu berechnen, müssen wir wieder den C und N der Hornspäne, den des Fleischextractes und den C der unresorbirbar ausgeschiedenen und noch im Darm enthaltenen Rohfaser in Abzug bringen. Verdaut sind, wie wir später sehen werden, nur 2,62 g (= 4,5 %) mit 1,27 g C. Im Koth und Verdauungskanal waren 54,68 g Rohfaser mit 26,12 g C enthalten [2]).

Es sind daher von den Ausgaben im Ganzen 32,78 g C und 1,91 g N in Abzug zu bringen [3]).

		C	N
Gesammtverbrauch		64,56	15,376
Eiweiss	97,80 g	52,07	15,376
Rohfaser	2,62 „	1,27	—
Fett	14,66 „	11,22	—

1) 33,144 C im Koth + 7,78 C in 16,29 Rohfaser = 40,92 C.

2) Da hier so wenig von der Rohfaser verdaut war, wurde der C-Gehalt der aus dem Koth isolirten Rohfaser nicht weiter bestimmt, sondern der Rechnung der ursprüngliche C-Gehalt der Rohfaser zu Grunde gelegt.

Im Koth waren enthalten	38,39 g Rohfaser	mit	18,34 g C.
Im Verdauungskanal nach Ablauf der Periode	16,29 g „	„	7,78 g „
	54,68 g Rohfaser	mit	26,12 g C

Gegeben	57,30 g Rohfaser	mit	27,38 g C.
Ausgeschieden	54,68 g „	„	26,12 g „
Verdaut	2,62 g Rohfaser	mit	1,26 g C.

3) 26,12 g C in der ausgeschiedenen Rohfaser,
5,07 g „ „ den Hornspänen,
1,59 g „ „ in dem Fleischextract.

Summe 32,78 g C.

1,46 N in den Hornspänen,
0,45 „ „ dem Fleischextract.

Summe 1,91 N.

Erhalten hatte das Thier 43,64 g reines Eiweiss und 0,163 g fettähnliche Substanz, also 54,16 g Eiweiss und 14,50 g Fett vom Körper abgegeben.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch vom Körper		Rohfaser zersetzt	Fett zersetzt	Fett vom Körper
Im Ganzen	97,80	— 54,16	— 253,6	2,62	14,66	— 14,50
Per Tag	24,45	— 13,54	— 63,4	0,65	3,66	— 3,62

In Folge der Zuckerentziehung ist die Zersetzung ganz kolossal gestiegen, statt der 10 g im vorigen Versuch per Tag zersetzten Zuckermenge sind 5,39 g Eiweiss und 2,96 g Fett, oder da nach Rubner 1 Eiweiss 0,479 g Fett isodynam ist, 5,54 Fett zersetzt worden. Per Kilo Thier [1]) sind zersetzt 15,26 g Eiweiss und 2,261 Fett.

In der nächsten Periode vom 7. bis 10. December bekam das Thier wieder die alte Nahrung und wurde dieselbe jeden Tag vollständig aufgezehrt.

Einnahmen:	C	N
60 g Albumin	25,94	7,45
6 g Fleischextract	1,77	0,51
40 g Zucker	17,29	—
12 g Hornspäne	5,63	1,63
Summe	50,63	9,59
Ausgaben:		
930 ccm Harn	9,02	10,52
25 g Koth [2])	4,61	0,99
Respiration	45,24	
Summe	58,87	11,51
Differenz:	— 8,24	— 1,92

Der Gesammtverbrauch gestaltet sich nach Abzug der Elemente der Hornspäne und des Fleischextractes folgendermassen:

	C	N
Gesammtverbrauch	51,47	9,37
Eiweiss 60,44	32,30	9,37
Zucker 40	17,29	—
Fett 2,45	1,88	—

1) Das mittlere Lebensgewicht in dieser Periode ist 1610 g.

2) Im Koth 10,57 g Rohfaser mit 5,05 g C; dieser C ist von der gefundenen C-Menge in Abzug gebracht, da er in der vorigen Periode bereits verrechnet ist.

Erhalten hatte das Thier 48,44 g Eiweiss und 0,18 g fettähnliche Substanz, es waren also vom Körper abgegeben 12,0 g Eiweiss und 2,27 Fett.

	Eiweiss zersetzt	Eiweiss, resp. Fleisch vom Körper		Zucker zersetzt	Fett zersetzt	Fett vom Körper
Im Ganzen	60,44	— 12	— 56,18	40	2,45	— 2,27
Per Tag	15,11	— 3	— 14,04	10	0,61	— 0,57

Per Kilo Thier [1]) sind in dieser Periode 10,2 g Eiweiss und 0,41 g Fett zersetzt worden. Es ist die Grösse der Zersetzung also nahezu dieselbe, wie in der ersten Periode dieses Versuches, wo per Kilo Thier täglich 11,4 g Eiweiss und 0,4 g Fett der Zerstörung anheimfiel.

In der nun folgenden Periode sollte der Zucker weggelassen werden, um die Grösse der Zersetzung bei alleiniger Albuminfütterung zu bestimmen. Am 11. December wurde der Zucker entzogen, die Nahrung war wie gewöhnlich sehr bald nach dem Füttern verzehrt, das Thier ganz munter, um so mehr war ich unangenehm überrascht, das Thier am 12. December morgens im Käfig todt zu finden, nachdem es 300 ccm Harn mit 2,8422 g N gelassen hatte.

Die Section ergab nichts Anormales, das Thier war sehr blutarm geworden und war fast gar keine sichtbare Spur von Fett vorhanden. Vom 29. November an hatte es um 27,8 % an Körpergewicht verloren, im Ganzen vom 6. October an um 31,4 % [2]).

Das Thier war also trotz der anscheinend reichlichen Nahrung verhungert.

In den 15 g Albumin erhielt dasselbe täglich 1,863 g N. Diese Nahrung könnte insofern als reichlich angesehen werden, da ich über einen Monat ein Kaninchen mit täglich 100 ccm Milch, enthaltend 0,6 g N, ziemlich gut im Stande gehalten [3]) habe. Dieses Thier schied im Mittel im Harn täglich 0,9 g N aus, setzte also täglich 0,3 g N vom Körper zu, während hier in den Zuckerperioden ca. 2,5 g N, in der

1) Das mittlere Lebendgewicht dieser Periode ist 1481 g.

2) Bei vier von Rubner angestellten Inanitions-Versuchen mit Kaninchen schwankte die procentische Gewichtsabnahme bei eingetretenem Tode zwischen 32—50 % des Anfangsgewichtes. Zeitschr. f. Biologie Bd. 17 S. 215.

3) Vgl. Tabelle S. 97.

Rohfaserperiode 3,4 g N täglich im Harn gefunden wurde, der Körper hier also 0,7 resp. 1,6 g N täglich zusetzen musste.

Es lässt sich dieses Resultat nur so erklären, dass entweder die fast gänzliche Fettarmuth des Futters das Thier unfähig machte, die Nahrung zu verdauen, resp. zu verwerthen, oder dass das Hühnereiweiss allein nicht im Stande ist, auf längere Zeit den Körper mit N zu versorgen. Für die erste Auffassung spricht unter anderm der Umstand, dass die Rohfaser nur zu 4,5 % verdaut wurde [1]), während dieselbe Sägespänerohfaser, wie durch einen früheren Versuch constatirt, zu 20,44 % verdaut wurde und die Kohlrohfaser gar einen Verdauungscoefficienten von 79 % ergab.

Die Verdaulichkeit der Eiweisssubstanzen des Futters stellt sich in den einzelnen Perioden wie folgt:

Der N des Fleischextractes ist auch hier ausser Acht gelassen, weil derselbe sämmtlich in den Harn übergeht.

Erhalten hatte das Thier in der 1. Periode 60,55 g Eiweiss mit 9,315 g N, im Koth waren, nach Abzug des N der Hornspäne, 3,584 g N entsprechend 23,58 g Eiweiss enthalten; es sind also 61,1 % verdaut. In der 2. Periode waren 43,64 g Eiweiss mit 6,71 g N aufgenommen, im Koth fanden sich nach Abzug des N der Hornspäne 2,133 g entsprechend 14,33 g Eiweiss; es sind also 67,2 % verdaut.

In der 3. Periode waren 48,44 g Eiweiss mit 7,45 g N aufgenommen, Koth war in den 4 Tagen dieser Periode nur 25 g abgesetzt worden; zur Berechnung der Verdaulichkeit des Eiweisses müssen wir daher den N-Gehalt der im Verdauungskanal restirenden Massen berücksichtigen, nachdem der N der am 11. December verzehrten Nahrung den Einnahmen zugerechnet ist. Richtig ist dieses Verfahren allerdings nicht, da der Darm mit Abschluss einer jeden Periode immer noch Reste der Nahrung enthält, es lässt sich in

1) Aufgenommen hatte das Thier in Summa 57,30 g Rohfaser.

Im Koth der 2. Periode	waren	38,39 g
„ „ „ 3. „	„	10,57 g
„ Magen und Dünndarm	„	1,316 g
„ Blinddarm	„	4,404 g
Summe		54,68 g Rohfaser enthalten; also 2,62 g = 4,5 % verdaut.

anderer Weise die Rechnung aber nicht anstellen. Der Gehalt an Hornspänen von früheren Perioden lässt sich approximativ in der Art bestimmen, dass man den Schwefelgehalt des mit Aether-Alkohol und Wasser erschöpften Rückstandes bestimmt, und dann die Menge der Hornspäne berechnet. Der Ueberschuss der so berechneten Hornspänemenge über die vom 7. bis 11. December verfütterte Menge wird mit seinem N-Gehalt in Abzug gebracht.

Die Rechnung stellt sich daher folgendermaassen:

Im Koth fanden sich 0,993 g N, im Inhalt vom Magen und Darm 4,130 g N. In Summa 5,1230 g N.

Der Gehalt an Hornspänen im Koth und im Rückstande des Verdauungskanals wurde, wie schon erwähnt, aus dem Schwefelgehalt berechnet. Es fanden sich darin nach Erschöpfung mit Wasser, Alkohol und Aether 0,60 g S [1]), entsprechend 17,6 g Hornspänen, da dieselben 3,3933 % S enthalten. Letztere enthalten 2,39 g N, die unverdaute Eiweissmenge daher 2,733 g N, entsprechend 18,0 g Eiweiss.

Da 60,555 g trocknes Eiweiss aufgenommen sind, so sind 70,25 % Eiweiss im Verdauungskanal gelöst, merkwürdigerweise mehr als in den früheren Perioden. Die dieser Rechnungsart anhaftenden Fehler hätten den Verdaulichkeitsgrad niedriger erweisen müssen. Immerhin zeigt das Eieralbumin im Vergleich zu fast allen anderen bekannten Eiweissstoffen eine sehr geringe Verdaulichkeit und ist es allein entschieden nicht im Stande, den Organismus auf längere Zeit zu erhalten. Anfangs glaubte ich diese Erscheinung nur durch die Fettarmuth des Eiweisses zu erklären, Versuche mit Mäusen haben mich aber gelehrt, dass dieses nicht der einzige Grund ist.

Mäuse mit Eiereiweiss allein ernährt gingen regelmässig den 3. Tag an Hunger zu Grunde, obgleich sie verhältnissmässig grosse Mengen der Nahrung verzehrten [2]).

1) In 2,3097 g Substanz (in äquivalenten Mengen und zwar je dem 30. Theil vom Koth und Inhalt des Verdauungsapparates) wurden gefunden 0,1575 $BaOSO^3$ = 0,02 S; 0,02 × 30 = 0,60 g S.

2) Maus I. 6. April 1884 Gewicht 13,9 g
9. April todt „ 9,5
Körpergewichtsverlust 32 %.

Mäuse mit Eidotter allein ernährt lebten 8—10 Tage.

Mäuse mit dem ganzen Ei ernährt habe ich 16 Tage vollständig normal erhalten können, Eiweiss und Zucker erhielt eine Maus 6 Tage, und ging dieselbe bei einem Körpergewichtsverlust von 27,3 % zu Grunde.

Bei einer Nahrung von Eiweiss und Oel lebte eine Maus 12 Tage, verendete bei einem Körpergewichtsverlust von 30 %. Das Bedürfniss der Thiere an Salzen war durch Zugabe von Weissbrodasche in allen Fällen gedeckt worden.

Eine Zugabe von Oel zum Futter hatte das Eiweiss entschieden für die Ernährung bedeutend geeigneter gemacht als eine solche von Zucker, und ist dieser Umstand nach unserer Kenntniss über die Rolle des Fettes im Körper leicht erklärlich. Es ist eben eine Neubildung von Zellen ohne Gegenwart von Fett nicht möglich.

Es ist immerhin merkwürdig, dass das Eiereiweiss auch unter Zusatz von Asche und Fett oder Kohlenhydraten den Organismus längere Zeit nicht zu erhalten im Stande ist, und dieser Umstand ist der Grund für das Misslingen dieses Versuches, d. h. für das Unvermögen des Kaninchens, die gereichte Rohfaser zu verdauen.

Die Section des Kaninchens ergab, wie schon erwähnt, nichts Anormales, und sollte zum Zweck des Vergleiches mit ähnlichen schon vorhandenen Untersuchungen die procentische Zusammensetzung des ganzen Thieres nach den einzelnen Organen und die chemische Zusammensetzung des ganzen Thieres ermittelt werden.

Wenn wir den Inhalt des Verdauungsschlauches und der Harnblase vom Endgewicht abziehen, so betrug dasselbe 1054,8 g [1]), die sich folgendermaassen auf die einzelnen Organe vertheilen:

Maus II. 14. April Gewicht 11,7 g
17. April „ 8,1
Körpergewichtsverlust 31 %.
„ III. 27. April Gewicht 13,3 g
30. April „ 10,5
Körpergewichtsverlust 22 %.

1) 23 g Harn + 206,2 g Nahrungsüberreste = 229,2 g; 1284 g — 229,2 g = 1054,8 g.

Fell mit Ohren	=	203,5 g	=	19,29 %.
Muskeln und Bindegewebe	=	380,0	=	36,02
Leber und Gallenblase	=	33,0	=	3,13
Herz	=	8,5	=	0,80
Lunge	=	8,0	=	0,75
Nieren und Nebennieren	=	12,0	=	1,14
Augen und Thränendrüsen	=	8,7	=	0,82
Harnblase	=	3,5	=	0,33
Magen und Darm	=	53,4	=	5,06
Skelett	=	299,0	=	28,34
Blut und Verlust	=	45,2	=	4,32
		1054,8 g	=	100,00 %.

Zum Zweck der chemischen Analyse wurden die inneren Organe sämmtlich mit den abpräparirten Muskeln und dem ausgeflossenen Blute vereinigt und in einem Becherglase im Papin'schen Topfe bei 2 Atm. Ueberdruck 2 Stunden gekocht. Dieselbe Behandlung erfuhren die Knochen und das Fell.

Die aus den Knochen und dem Fell ausgekochte Brühe wurde mit der Brühe aus dem Fleisch vereinigt und zum Absetzen des Fettes gekühlt. Da aber keine Spur von Fett zu bemerken war, wurde dieselbe mit dem Fleisch eingedampft, nach dem Trocknen gründlich gemischt und ebenso wie die Knochen und die Haut fein vermahlen.

Die so hergerichteten Massen wurden zur Bestimmung des Fettes des Stickstoffs und der Asche benutzt.

Es waren im Ganzen an Trockensubstanz vorhanden:

in Form von Fleisch	125,9 g
„ „ „ Fell	92,9
„ „ „ Knochen	108,5
Summe	327,3 g = 30,3 % des Körpergewichts,

und fanden sich:

	Fett	Stickstoff	Asche
im Fleisch:	3,593 g Fett,	17,6 g Stickstoff und	6,08 g Asche,
in den Knochen:	1,49 „	6,4 „ „	58,54 „
in dem Fell:	2.109 „	13,4 „ „	1,69 „
Summe:	7,192 g Fett;	37,4 g Stickstoff und	66,31 g Asche.

Beim Anblick dieser Zahlen muss gleich der hohe Grad der Fettarmuth in dem Thiere auffallen. (In Bezug auf den N stimmen

die Zahlen mit den von Rubner angegebenen sehr gut überein. Die Trockensubstanz verhungerter Kaninchen enthielt bei Rubner [1]) 10,24 — 11,65 % N; ich habe 11,4 % N gefunden.)

Auf das wasserhaltige Körpergewicht bezogen enthielt das Thier 3,54 % N = 22,025 % Eiweiss und 0,68 % Fett. Wie hoch die procentische Menge an Eiweiss und Fett am Anfang der Versuchsreihe betrug, lässt sich leicht berechnen, wenn wir die in den einzelnen Versuchsreihen vom Körper abgegebenen Eiweiss- und Fettmengen dem Endbestand hinzuaddiren.

Abgegeben hatte das Thier in Periode	I	34,644	3,164
„ „ „ „ „ „	II	54,16	14,50
„ „ „ „ „ „	III	12,0	2,27
	Summe:	100,804	19,934

Am Anfang der Periode wog das Thier 1780 g, bringen wir den Inhalt des Verdauungskanals und der Harnblase auch hier mit 229 g in Abzug, so betrug das Reingewicht 1551 g, und waren darin enthalten 334,5 g Eiweiss und 27,126 g Fett; in Procenten des lebenden Thieres 21,57 % Eiweiss und 1,74 % Fett. Der Fettbestand war auch am Anfang der Periode, da die Fütterung bereits 8 Tage gedauert hatte, ein sehr geringer [2]), hatte aber trotzdem noch so bedeutend abgenommen.

Die Zahl für den procentischen Eiweissgehalt am Ende der Versuchsperioden erscheint hiernach höher als am Anfang derselben. Dieses hat seinen Grund in dem Umstande, dass der Stickstoff des Felles, als Eiweiss berechnet, einen grösseren Einfluss auf das Endgewicht als auf das Anfangsgewicht ausübt. Ziehen wir auf beiden Seiten das Gewicht des Felles mit der darin gefundenen Eiweissmenge ab, so kommen wir zu etwas anderen und zwar richtigeren Zahlen. Es berechnet sich dann der procentische Eiweissgehalt am Anfang der Versuche zu 18,6 %, am Ende zu 17,6 %.

1) Zeitschr. f. Biologie 1881 S. 223.

2) Die Hungergans von Chaniewski, Zeitschr. f. Biologie Bd. 10 S. 190 enthielt noch 3,25 % Fett.

Damit wären wir am Schlusse der vorliegenden Untersuchungen über die Bedeutung der Rohfaser für die Ernährung.

Es hat sich mit Evidenz ergeben, dass dieselbe nicht als unnützer Ballast der Nahrung unserer Pflanzenfresser aufzufassen ist. Wenn man auch schon lange wusste, dass bei den Wiederkäuern ohne Rauhfutter die so wichtige Function des Wiederkäuens nicht zu Stande kommen könne, so fehlten bei den nicht wiederkäuenden Pflanzenfressern doch Angaben über die Nothwendigkeit der Rohfaser.

Es tritt bei dem verhältnissmässig so langen Darm der Pflanzenfresser und der langsamen Kothwanderung leicht die Gefahr einer Verstopfung namentlich in dem Blinddarmtheil ein, und ist es gerade die Rohfaser, welche dem Darminhalt die lockere Beschaffenheit verleiht.

Dieses wäre die erste wichtige Function der Rohfaser. Die zweite Frage: kommen die bei der Lösung der Rohfaser im Organismus sich bildenden Producte dem Körper bei seiner Ernährung auch zu Gute, oder hat die Rohfaser überhaupt einen Nährwerth, glaube ich im Hinblick auf die Resultate entschieden bejahen zu müssen. Es wird durch die bei der Lösung der Cellulose sich bildenden Producte sowohl Eiweiss als Fett gespart. Die weitere Frage: wo findet die Lösung statt und wie erklärt sich der Umstand, dass nur die Pflanzenfresser die Cellulose zu verdauen im Stande sind, ist hier nicht näher berührt, doch gibt uns darüber die eben erschienene treffliche Arbeit von H. Tappeiner[1]) Aufschluss.

Es liegen überhaupt zwei Möglichkeiten vor: Entweder wird die Cellulose durch directe Einwirkung eines Enzyms gelöst, oder es kommt die Lösung derselben durch einen Gärungs- oder Fäulnissprocess zu Stande. An Angaben über ein Ferment, welches die Lösung der Cellulose vollzieht, fehlt es zwar nicht; so will Mac. Gillawry[2]) aus dem Processus vermiformis des Kaninchens ein Ferment durch Glycerin extrahirt haben, welches Cellulose verdaut, ebenso war Schmulewitsch[3]) im Stande, durch Einwirkung von

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 52.

2) Archiv neerland XI, 394, nach dem Jahresbericht f. Chemie 1877 XXX, 982

3) Ueber das Verhalten der Verdauungssäfte zur Rohfaser der Nahrungsmittel. Bulletin de l'academie imperial des scienses de St. Petersbourg. 1879.

Pancreatin auf unveränderte Futterstoffe Cellulose in Lösung zu bringen; nach Henneberg dargestellte Rohfaser wurde durch dasselbe Ferment nicht angegriffen, während dieselbe, wie wir gesehen haben, im Organismus wohl eine Lösung erfährt. Doch haben namentlich die Untersuchungen von Tappeiner gezeigt, dass eine Lösung von Cellulose nur bei Gegenwart von Gärungsvorgängen stattfindet und die Wirkung specifischer Enzyme dabei ausgeschlossen ist. So wird man also auf die zweite Möglichkeit der Celluloselösung durch Gärungs- resp. Fäulnissprocesse geführt. Dafür spricht dann auch der Umstand, dass die Cellulose nur an solchen Stellen im Verdauungsschlauch eine Lösung erfährt, wo der Inhalt längere Zeit verweilt (Pansen-Dickdarm), und dass Thiere mit einem kurzen Darm und dem entsprechend rascher Verdauung Cellulose zu lösen nicht im Stande sind. Tappeiner hat sogar die Cellulosegärung künstlich erzeugen können und führt dieselbe auf die Wirkung von im Pansen enthaltenen Bacterien zurück.

Es ist nach ihm die Cellulose-Sumpfgasgärung der einzige Process, durch welchen die Cellulose im Verdauungskanal der Wiederkäuer gelöst wird. Von 100g verdauter Cellulose waren 38,2g in Form von CO_2 (33.5g) und Sumpfgas (4,7g) in Gasform entwichen und 60 % in flüchtige Säuren (Buttersäure und Essigsäure) übergeführt. Den ersteren kann, da sie den Organismus unverändert verlassen, kein Nährwerth zugeschrieben werden, dagegen müssen wir die ermittelte Bedeutung der Cellulose für die Ernährung auf Rechnung der gebildeten Butter- und Essigsäure setzen und kann dieselbe nach der potentiellen Energie, welche ihnen innewohnt, berechnet, eine sehr hohe sein. So gibt Tappeiner die Verbrennungswärme

eines Gramm	Cellulose [1])	zu	4452	Cal.
„ „	Stärke [1])	„	4479	
„ „	Buttersäure [2])	„	5647	„
„ „	Essigsäure [2])	„	3505	„ an.

In dem Versuch mit Heurohfaser-Fütterung sind 74,68g Rohfaser verdaut, es sind also, wenn wir die Tappeiner'schen Zahlen

1) Nach v. Rechenberg, Journal für praktische Chemie. 1880.
2) Nach Favre und Silbermann, Annales de Chemie et de Physique. 1852.

zu Grunde legen, 44,8g Butter- und Essigsäure gebildet worden, was unter der Annahme, dass Butter- und Essigsäure etwa zu gleichen Theilen vorhanden waren, einer dem Organismus zugeführten latenten Kraftsumme von 201600 Cal. entspricht.

Allerdings meint Tappeiner, dass nur ein Theil dieser Säuren dem Organismus zu Gute komme, dass ein Theil im Harn, ein anderer in den festen Excrementen den Körper verlasse. Ich habe bei den Untersuchungen des Harns und des Kothes auf diese Körper nicht geachtet, es wären mir dieselben aber, wenn sie in grösseren Mengen aufgetreten wären, nicht entgangen. Vermuthlich hätten die Säuren, an Kalk gebunden, den Organismus verlassen, und hätte ich dann bei der CO_2-Bestimmung, die in allen Kothaschen gemacht ist, während der Rohfaserperiode höhere procentische Werthe für die CO_2 gefunden. Eine bestimmte Regelmässigkeit trat hier aber nicht ein, ich fand sogar in der Asche des Kothes der 1. Periode 1,9 % Kohlensäure; in der 2. Periode fand ich in der mir zu Gebote stehenden Aschenmenge kaum wägbare Spuren von CO_2. Wenn die Zersetzung der Cellulose innerhalb des Verdauungskanales unter Bildung von ca. 40 % gasförmigen Verbindungen und zwar hauptsächlich Kohlensäure verlaufen sollte, so hätte ich an den Rohfasertagen die Kohlensäureausscheidung um 2—3g höher als an den Normaltagen finden müssen. Die Sumpfgasbestimmung war mir leider aus äusseren Gründen nicht möglich. Diesen Widerspruch werden erst spätere Untersuchungen unter Berücksichtigung der Sumpfgasausscheidung aufklären können.

Ueber die im Harne von Diabetikern vorkommende pathologische Säure.

Von

E. Stadelmann

in Heidelberg.

Mit Rücksicht auf die eben erschienene Arbeit von Külz [1]) halte ich es an der Zeit, die Resultate meiner Untersuchungen mitzutheilen, die ich im physiologischen Laboratorium in Leipzig vor nun mehr als einem halben Jahre angestellt hatte, Resultate, die ich aus anderen Gründen bisher nicht veröffentlichte.

Im Gegensatze zu Uinkowski [2]) zweifelte ich noch daran, ob die von mir [3]) früher bei Diabetikern gewonnene und als β-Crotonsäure bestimmte Säure wirklich mit dieser identisch sei, um so mehr als der Fund einer ungesättigten organischen Säure im Harne entschieden etwas sehr Auffallendes hatte, und andererseits die lediglich theoretischen Ausführungen Uinkowski's mich nicht davon überzeugen konnten, dass die von mir gefundene Säure nicht primär als solche im Harn vorhanden sei, sondern ein Zersetzungsproduct der primär vorhandenen Oxybuttersäure sei. Uinkowski hätte wenigstens nachweisen müssen, wie dies auch Külz (a. a. O.) hervorhebt, dass bei Destillation seiner Säure, die er als Oxybuttersäure bestimmte, mit Schwefelsäure Crotonsäure entstehe.

Bei einem Diabetiker, der grosse Mengen NH_3 im Harn ausschied und bei dem, gemäss meiner früheren Ausführungen demnach

1) Zur Kenntniss der linksdrehenden Oxybuttersäure, Archiv f. experimentelle Pathologie Bd. 18 Heft 5 und 6.

2) Ebenda Bd. 18.

3) Ebenda Bd. 17.

auch die fragliche Säure zu erwarten war, stellte ich dieselbe nach der früher von mir angegebenen Methode dar; das auf diese Weise erhaltene unreine, sehr stark gefärbte Barytsalz wurde mit Aether und etwas Alkohol gewaschen, um dadurch den Harnstoff und Reste des Zuckers zu entfernen und dann mit absolutem Alkohol behandelt. Es zeigt sich dann, dass das Barytsalz zuerst ungelöst bleibt und sich als eine seidenglänzende Masse zusammenballt, bei Zusatz von etwas Wasser dagegen sich vollkommen löst. Aus dieser Lösung lässt sich dann das Barytsalz durch absoluten Alkohol fast vollkommen wieder ausfällen. Man hat demnach durch eine derartige Behandlungsweise die Möglichkeit, das erhaltene Salz von den Resten von Zucker und Harnstoff zu befreien, die ihm noch anhaften. Trotzdem ist dasselbe noch intensiv gefärbt und kann dieser anhaftende Farbstoff selbst durch mehrmaliges Reinigen mit Thierkohle nicht entfernt werden. Stets tritt bei stärkerem, selbst noch so vorsichtigem Concentriren der wässerigen Lösung des übrigens nicht krystallisirenden Barytsalzes eine Dunkelbraunfärbung desselben ein. Es gelingt den Farbstoff nur durch nochmaliges Zersetzen des Barytsalzes und erneutes Ausschütteln mit Aether zu entfernen. Ich vermuthe, dass diese färbenden Massen Zersetzungsproducte des Zuckers sind. Uebrigens ist dieser Farbstoff ein vorzüglicher Indicator bei der Zersetzung des Barytsalzes. Wenn man dieses mit Schwefelsäure behandelt, um die freie Säure wieder zu gewinnen, so gibt der geringste Ueberschuss von Schwefelsäure, der mit Barytwasser kaum mehr eine Trübung gibt, einen Farbenumschlag in hellroth.

Die auf diese Weise gewonnene gereinigte und nur sehr wenig gefärbte freie Säure bindet Brom nicht, dreht stark links, wie dies Külz und Uinkowski (a. a. O.) angegeben haben. Das daraus gewonnene Zinksalz zeigt genau die von mir früher beschriebene Krystallisation, d. h. schöne lange Nadeln, das Silbersalz hat die von Uinkowski beschriebene Natur, nur muss ich erwähnen, dass die Gewinnung desselben durchaus nicht so einfach ist, wie sie Uinkowski angibt. Es fallen sehr reichliche schwarze Flocken aus, die das später auskrystallisirende Silbersalz stark verunreinigen; beim Lösen des Salzes durch leichtes Erwärmen und Filtriren scheiden sich diese schwarzen amorphen Massen wiederum

aus. Auch beim längeren Stehen schwärzt sich die Lösung des nicht vollkommen auskrystallisirten Silbersalzes sehr erheblich. Diese Schwierigkeiten werden überwunden durch Filtriren des leicht erwärmten möglichst concentrirten Silbersalzes und Auskrystallisiren über Eiswasser, sofortiges Absaugen und Abpressen der Mutterlauge.

Das Natronsalz krystallisirt in Hexaëdern und Sternform mit langen Strahlen, zieht an der Luft sehr begierig Wasser an, ist in Alkohol schwer löslich und aus der alkoholischen Lösung durch Aether leicht ausfällbar.

Das Cadmiumsalz krystallisirt in sehr schönen Sternformen mit langen Strahlen, krystallisirt übrigens sehr schwer aus.

Wenn man nun diese gereinigte primäre Säure, ohne jeden Zusatz von Schwefelsäure destillirt, so geht dabei ein schwach sauer reagirendes, wässriges Destillat über. Man hat sich wohl zu hüten, die Temperatur über 100—102° gehen zu lassen, weil dann heftiges Stossen, Siedverzüge etc. eintreten, die die grössten Verluste zur Folge haben, so dass man demnach nur mit eingesetztem Thermometer destilliren darf. Sobald alles Wasser übergegangen ist, steigt die Temperatur auf 106 bis 118 und dabei gehen ölige dicke, sehr stark unangenehm riechende Massen über, welche eine geringe Menge von Krystallen in sich enthalten und gelb gefärbt sind. Unter langsamem Steigen der Temperatur auf 182° krystallisirt immer mehr über und schlägt sich an den kälteren Theilen des Kolbens nieder, bis dann die ganze Flüssigkeit zwischen 183 und 184° constant siedet und weiss krystallinisch übergeht. Diese Krystalle bestehen aus Blättern, der unangenehme Geruch haftet der Mutterlauge an und lässt sich durch Abpressen dieser entfernen. Die zurückbleibende schneeweisse Säure hat einen stechenden Geruch und zieht sehr leicht Wasser an, ist erheblich flüchtig.

Der Schmelzpunkt liegt zwischen 71 und 72°, sie erstarrt bei 69°.

Für die Elementaranalysen wurde das erhaltene Material dreimal überdestillirt und schliesslich die beim letzten Male unter constantem Siedepunkt übergehenden krystallinischen Massen verwendet. Die Analyse bietet insofern Schwierigkeiten, als die Krystalle ausserordentlich leicht Wasser anziehen.

0,3037 Substanz lieferten

0,6221 CO_2 = 55,86 C
0,1942 H_2O = 7,10 H

berechnet für $C_4H_6O_2$

55,81 C
6,98 H.

Die Platinbestimmung des Platindiammoniumsalzes (für Crotonsäure $C_8H_{22}N_4PtO_4$) ergab folgende Resultate:

0,6672 des Salzes lieferten

45,54 % Platin.

0,4736 des Salzes lieferten

45,54 % Platin.

Gefordert werden 45,28 % Platin.

Es lässt sich demnach nicht mehr bezweifeln, dass die vorliegende Säure Crotonsäure und zwar α-Crotonsäure ist.

Auch die Natur der einzelnen Salze stimmt damit sehr gut überein.

Das Platindiammoniumsalz krystallisirt in wunderschönen Blättern, ist in Alkohol schwer löslich und ist zur Analyse sehr geeignet. Das Cadmiumsalz krystallisirt in kleinen Nadeln oder Prismen, ist in Wasser schwer löslich. Zinksalz und Barytsalz sind in H_2O sehr leicht löslich, krystallisiren erst beim Eintrocknen aus öligen Tropfen aus, und zwar das Barytsalz in feinen Nadeln, auch das Zinksalz in feinen meist büschelförmig zusammenliegenden Nadeln, die aber lange nicht so schön ausgebildet sind, wie die des Zinksalzes der nicht überdestillirten Säure. Das Zinksalz geht sehr leicht in das amorphe basische Salz über.

Sehr charakteristisch im Gegensatze zu der nicht überdestillirten Säure, von welcher ich nach den übereinstimmenden Analysen von Uinkowski und Külz nicht mehr bezweifle, dass sie Oxybuttersäure ist, ist das Natronsalz und das Silbersalz.

Das Natronsalz der Crotonsäure krystallisirt in Blättchen, die in Wasser sehr leicht löslich sind, in Alkohol unlöslich und nicht hygroskopisch sind, während das Natronsalz der Oxybuttersäure ausserordentlich hygroskopisch und zur Analyse nicht verwendbar ist. Das Silbersalz der Crotonsäure ist in Wasser unlöslich und amorph, erst bei längerem Erwärmen löst sich eine geringe Menge desselben, die dann langsam in eine krystallinische Form übergeht.

Auf Grund der Kenntniss dieser Eigenschaften des crotonsauren Silbersalzes gelingt es leicht, die Crotonsäure von der Oxybuttersäure zu trennen. Ich habe stets in der sauer reagirenden wässrigen Flüssigkeit bei der Destillation der Oxybuttersäure Crotonsäure nachweisen können. Dies beweist, dass die Oxybuttersäure schon bei einer Temperatur von 100° bei absoluter Abwesenheit von Schwefelsäure sich in Wasser und Crotonsäure zersetzt. Die Crotonsäure ist ausserordentlich leicht flüchtig, destillirt sehr leicht mit Wasser über, so dass ich z. B. von ca. 4,5 Crotonsäure in gesättigter Lösung bei vorsichtigstem Destilliren (Temperatur nie über 100°) nur ca. 0,3 Crotonsäure rein krystallinisch gewinnen konnte.

Die Crotonsäure dreht selbst in gesättigten Lösungen die Polarisationsebene nicht. Reduciren thut weder die Crotonsäure noch die Oxybuttersäure, ebenso wenig gibt die Crotonsäure oder die Oxybuttersäure noch ihre Salze mit Fe_2Cl_6 eine Rothfärbung.

Noch einen Punkt will ich zu erwähnen nicht unterlassen.

Ich gab in meiner früheren Arbeit an, dass bei der sauren Destillation diabetischer Harne mit Gehalt an Oxybuttersäure ein saures Destillat übergeht, aus dem ich die betreffende Säure damals nicht isoliren konnte. Uinkowski (a. a. O.) bestreitet die Richtigkeit dieser Beobachtung, die ich aber vollkommen aufrecht erhalte. Ja auch bei Destillation ohne Schwefelsäure oder Weinsteinsäure geht ein solches saures Destillat über, das (ich habe das Barytsalz krystallinisch und das Silbersalz) allerdings in geringen Mengen unzweifelhaft Crotonsäure enthält. Es folgt daraus, dass wir bei dem Nachweis der Oxybuttersäure im Harn jedes starke Eindampfen der freien Säure zu unterlassen haben. Ich nehme demnach keinen Anstand mehr, die von mir auch früher gefundene Säure als α-Crotonsäure zu bezeichnen, in welche die Oxybuttersäure selbst bei vorsichtigster Destillation zerfällt.

Schliesslich bemerke ich noch, dass ich schon vor ca. einem Jahre die α-Crotonsäure aus dem Harne rein dargestellt und durch Bestimmung des Siedepunktes und Schmelzpunktes als solche erkannt hatte, und dass ich sie schon damals im physiologischen Laboratorium in Leipzig jedem, der sich dafür interessirte, als solche demonstrirte.

Experimentelle Beiträge zur Lösung der Frage über die specifische Energie der Hautnerven.

Von

Magnus Blix.

Aus dem physiologischen Laboratorium zu Upsala.

(Mit Tafel II.)

III.

Nachdem ich die Resultate gewonnen hatte, welche ich in den zwei vorhergehenden Abschnitten dieser Abhandlung publicirt habe[1]), war es natürlich meine nächste Aufgabe den directen Nachweis zu versuchen, ob auch die Endapparate des Drucksinnes in der Haut als räumlich getrennt von denen des Temperatursinnes demonstrirt werden können. Es könnte vielleicht eine solche Absicht Manchem sowohl erfolglos als unnöthig erscheinen; erfolglos deswegen, weil man ja weiss, dass Druckempfindungen von jedem Punkte der Haut ausgelöst werden können, und als Grund dafür annimmt, dass die peripherischen Endorgane des Drucksinns dermaassen dicht neben einander stehen, dass bei jeder Berührung der Haut mehrere davon getroffen und gereizt werden; unnöthig darum, weil der functionelle Unterschied zwischen den Endapparaten des Drucksinns und denen des Temperatursinns schon theoretisch gestützt (Abschn. I S. 155) und ausserdem durch vorher angeführte Versuche zur vollen Evidenz praktisch bewiesen worden ist. Diese Versuche zeigen ja, dass es zwischen den Organen des Temperatursinns auf

1) Siehe Upsala Läkare-förenings Förhandlingar 1882 Bd. 18. Zeitschr. f. Biologie Bd. 20.

der Hautfläche Lücken gibt, von welchen doch ebenso wie von allen übrigen Punkten der Haut, Druckempfindungen ausgelöst werden können — wo es also Organe gibt, welche für Druck empfindlich sind und dabei nur Druckempfindungen hervorrufen.

Aus der Thatsache, dass Druckempfindungen von jedem, auch dem kleinsten Punkte der Haut ausgelöst werden können, ist man jedoch nicht berechtigt den Schluss zu ziehen, dass ebenfalls jeder, auch der kleinste Punkt, einen Endapparat des Drucksinns enthalten müsse. Mehrere Umstände sprechen für die entgegengesetzte Annahme, für die nämlich, dass diese Apparate zerstreut sind, also mit grösseren oder kleineren Zwischenräumen in der Haut stecken. Schon die anatomischen Verhältnisse machen es unwahrscheinlich, dass die Haut mit so dicht gedrängten nervösen Apparaten versehen sein sollte, dass nicht einmal an einigen Gegenden gewisse Lücken zwischen denselben nachweisbar seien. Ist die Vertheilung dieser Organe über die Haut einigermaassen proportional der der Nerven, wie ja vorauszusetzen ist, so dürften sie wohl auch unter einander in den verschiedenen Körpertheilen ungleiche Abstände einnehmen.

Nehmen wir aber an, dass es solche Lücken gibt, wie wollen wir dann die Thatsache erklären, dass Druckempfindungen von jedem beliebig kleinen Punkte der Haut, also auch von denjenigen Stellen, wo keine specifischen Endapparate vorhanden sind, ausgelöst werden können? Die Erklärung finden wir in einem Umstande, welcher oft in der Literatur erwähnt wurde und ebenso oft unbeachtet blieb, dem nämlich, dass der Druck nicht allein auf die unmittelbar getroffene Hautpartie wirkt, sondern dass er sich auch auf die angrenzenden sowie auch die tiefer gelegenen Theile fortpflanzt. Czermak sprach ja schon vom physikalischen Empfindungskreise. Er meinte, dass der Druck auf einem Punkte der Haut nicht nur das oder die unter dem berührten Hautelemente befindlichen Empfindungsorgane, sondern auch eine grössere oder kleinere Anzahl in der Umgebung befindlicher Organe derselben Art in den Reizungszustand versetze und zwar in Folge der Fortpflanzung des Druckes durch die Gewebe. Dabei müssen natürlich die dem Angriffspunkte des Druckes zunächst gelegenen Organe am stärksten getroffen

und die Wirkung des Drucks auf dieselben geschwächt werden mit wachsendem Abstande von jenem Punkte. Es ist demnach leicht einzusehen, dass eine Druckempfindung zu Stande kommen könnte, auch wenn das direct berührte Hautelement keine Empfindungsorgane enthielte, wenn es nur solche gäbe innerhalb des Gebietes, über welches die Wirkung des Drucks sich erstreckt.

In dieser Fortpflanzung des Drucks auf die Umgebung haben wir darum meines Erachtens die Erklärung des Verhaltens zu suchen, dass Druckempfindungen durch Berührung beliebiger Punkte der Haut zu Stande kommen können[1]). Dies ist zwar einstweilen nur eine Hypothese, welche aber durch die Versuche, die ich im Folgenden mitzutheilen beabsichtige, schon eine experimentelle Grundlage erhält.

Es ist ja doch selbstverständlich, dass, wenn ein gewisser Druck auf ein Hautelement wirkt, derselbe sich auch auf die Umgebung fortpflanzt, dass aber die Intensität desselben dabei auch abnimmt mit der Entfernung von dem Angriffspunkte. Nun ist es aber eine wohl bekannte Erfahrung, dass wenn ein Reiz eine merkbare Empfindung hervorrufen soll, die Intensität des Reizmittels ein gewisses Minimum — das Minimum perceptibile — überschreiten muss. Haben wir also durch allmähliche Schwächung des Reizmittels den geringsten Druck gefunden, welcher von einem gewissen Punkte der Hautoberfläche eine Druckempfindung hervorrufen kann, und wenden wir dasselbe Reizmittel auf einem anderen Punkte an, so kann es doch entweder eine stärkere, eine gleich starke oder aber gar keine Empfindung hervorbringen. Wäre es nun der Fall, dass die Empfindungsapparate in der Haut eine zerstreute Anordnung haben, und hätten wir das „Minimum perceptibile“ für den Punkt der Hautoberfläche gefunden, welcher gerade senkrecht über einem solchen Organ steht, dann dürfte dasselbe Reizmittel im Allgemeinen keine Empfindung in der Umgebung hervorrufen,

1) Ich bin sogar davon überzeugt, dass dies auch der Grund ist, warum Druckempfindungen manchmal ausgelöst werden können von Hautstellen, deren zugehörige Nerven abgeschnitten worden sind, und glaube ich übrigens, dass viele andere analoge Erscheinungen in derselben Weise sich erklären lassen. Dabei ist natürlich nicht zu vergessen, dass die Drucksinnsapparate in ihrem örtlichen Vorkommen wahrscheinlich nicht auf die Haut allein beschränkt sind.

weil ja der Zuwachs der Entfernung zwischen dem Angriffspunkte und dem reizbaren Organe eine Herabsetzung der Wirkung des Reizmittels auf das bezügliche Organ herbeiführen muss. Wäre also eine beträchtlichere Entfernung zwischen den einzelnen Empfindungsorganen vorhanden, so dürfte dieselbe durch die Anwendung eines zweckmässigen Verfahrens bei der Application des Reizes nachgewiesen werden können und zwar eines Verfahrens, wodurch es möglich wäre das Minimum perceptibile für jeden Punkt zu finden.

Bevor ich aber auf die Beschreibung der Untersuchungsmethode übergehe, dürfte es vielleicht nöthig sein, den Sinn des Ausdruckes „beträchtlichere Entfernung" etwas näher zu beleuchten. Es ist leicht einzusehen, dass der Abstand der Empfindungsorgane von der Hautoberfläche, mit anderen Worten die Tiefe, in welcher sie ihren Sitz haben, dabeim aassgebend wirkt. Je näher sie sich an der Hautoberfläche befinden, um so schneller nimmt die Intensität der Reizung mit der Entfernung des Angriffspunkts des Drucks von dem senkrecht über einem Organ gelegenen Punkte ab. Demnach wären diese Organe um so leichter als von einander isolirt nachzuweisen je oberflächlicher ihre Lage ist.

Die Methode sollte darauf ausgehen, das Minimum perceptibile bei Druckreizung nahe an einander gelegener Punkte der Haut zu bestimmen. Die einzige zu diesem Zwecke bisher angewendete Methode ist die Aubert-Kammler'sche. Sie besteht darin, dass man kleine Gewichte von gleicher Bodenfläche langsam und vorsichtig auf die Haut stellt und so lange verschiedene Gewichte probirt bis man eines findet, welches eben im Stande ist, eine Druckempfindung zu bewirken. Diese Methode, obwohl mühsam und in ungeübter oder unachtsamer Hand sogar irreführend, hat jedoch in den Händen der Urheber werthvolle Erläuterungen geliefert über die Variationen der Schärfe des Drucksinns verschiedener Stellen der Haut. Speciell haben Aubert und Kammler auf die grosse Bedeutung der Wollhaare für den Tastsinn die Aufmerksamkeit gelenkt, ebenso wie darauf, dass die Druckempfindlichkeit unverhältnissmässig grösser ist an den Theilen, welche mit sog. Meissner'schen Tastkörperchen versehen sind.

Für unseren Zweck passt, wie man leicht einsieht, diese Methode nicht. Wir müssen die Reizbarkeit Punkt für Punkt, d. h. jedesmal eine möglichst beschränkte Fläche, nicht eine solche von 0,5 bis 1 ^{cm} sich belaufende untersuchen. Wir müssen eine ganze Menge von Bestimmungen machen, weshalb wir von der Methode verlangen, dass sie uns schnell und sicher zum Ziele führt. Es soll jetzt auseinandergesetzt werden, wie ich zu Wege gegangen bin.

Anstatt die Reizung durch einen anhaltenden Druck hervorzubringen, habe ich einen momentanen Druck — einen Stoss — angewandt. Unter allen Vortheilen, welche diese Abänderung herbeigeführt hat, hebe ich besonders den hervor, dass eine der lästigsten Fehlerquellen, welche der Aubert-Kammler'schen Methode anhaften, dadurch eliminirt wird. Wie leicht geschieht es nicht, dass man das kleine Gewicht zu schnell auf die Haut legt, wodurch es in der That derselben einen Stoss mittheilt, und also nicht allein durch seine Schwere, sondern auch durch seine lebendige Kraft wirkt. Um nun dem untersuchten Punkte einen minimalen Stoss zu ertheilen, habe ich einen besonders zu diesem Zwecke eingerichteten kleinen Apparat angewendet (siehe Taf. II Fig. 1).

Eine horizontale Stahlachse (a) dreht sich womöglich ohne Reibung in conischen Stahllagern. Die Achse ist von zwei feinen Löchern, das eine in horizontaler, das zweite in verticaler Richtung, durchbohrt. In dem ersten (horizontalen) Loche wird das eine Ende eines dünnen Strohhalms von etwa 10 ^{cm} Länge befestigt. Dieser Strohhalm dient somit als leichter Hebel, an dessen anderem Ende ein rechtwinkelig gebogenes Pferdehaar mit Wachs in der Weise befestigt wird, dass es mit der Spitze (p) senkrecht nach unten sieht. In dem anderen (verticalen) Loche der Achse dreht sich ein feiner Metalldraht (m), welcher als Gegengewicht dient. Er ist in der Weise gebogen, dass der Schwerpunkt des ganzen beweglichen Systems in der gemeinschaftlichen Ebene der Achse und des Strohhalms liegt, aus welchem Grunde das System eine völlig indifferente Gleichgewichtslage hat, wenn der Metalldraht dermaassen gedreht ist, dass er den Strohhalm äquilibrirt. Der Draht steht dann auch senkrecht gegen die Achse (a), und weil die Ebene, in welcher er sich dreht, jene oben erwähnte für die Achse und den Strohhalm

gemeinschaftliche ist, muss der Schwerpunkt immer in dieser Ebene bleiben, nur in grösserer oder geringerer Entfernung von der Achse, je nach dem grösseren oder kleineren Winkel, welchen der äquilibrirende Draht mit der Achse bildet. Dieser Drehungswinkel wird abgelesen auf dem Gradbogen (*g*), dessen Mittelpunkt mit dem Loche in der Achse (*a*), in welchem der Metalldraht sich dreht, zusammenfällt.

Nehmen wir nun an, dass der Hebel aus der horizontalen Stellung um eine gewisse Höhe frei herunterfällt, so ist es klar, dass er dabei eine gewisse lebendige Kraft gewinnt, deren Grösse von der Stellung des Gegengewichts und von der Fallhöhe abhängig ist. Wir können also die Kraft des Stosses abändern, einestheils durch Abänderung der Fallhöhe und anderntheils durch Lageveränderung des Gegengewichtes. Um die Fallhöhe reguliren zu können, war ich genöthigt besondere Hilfsmittel herbeizuziehen. Diese hatten zum Zwecke bei jedem Versuche den Hebel auf eine gewisse Höhe zu heben und dann unmittelbar fallen zu lassen. Dadurch wird man unabhängig von den kleinen Bewegungen der untersuchten Oberfläche, welche von dem einen Versuche bis zum anderen eintreten können, und welche uns zu einem neuen, mühsamen und zeitraubenden Einstellen des Apparates vor jedem Versuche nöthigen würde.

Die zu diesem Zwecke dienende Vorrichtung besteht aus zwei Theilen. Der eine ist eine cirkelrunde auf die Achse (*a*) befestigte und centrirte dünne Stahlscheibe (*t*). Der zweite Theil ist eine Röhre (*b*), welche mit ihrem einen Ende dicht an der Stahlscheibe in der Weise befestigt ist, dass sie Winkelbewegungen herauf und herunter um die Achse (*a*) als Mittelpunkt ausführen kann. Ihre Excursionen werden von dem Bügel und der Stellschraube (*r*) begrenzt. Durch die Röhre (*b*) ist ein steifer Draht geführt, welcher in seinen beiden Enden mit je einem Metallknopfe versehen ist, von welchen der eine in der Figur mit *s* bezeichnet ist. Drückt man gegen diesen Knopf, so wird der zweite Knopf in Berührung gesetzt mit der Peripherie der Scheibe *t*, welche somit ebenso wie die Achse *a* und der Hebel *h* an die Bewegungen der Röhre *b* Theil nehmen muss. Lässt der Druck auf *s* nach, so wird der zweite

Knopf durch eine in der Röhre eingeschlossene Spiralfeder von der Scheibe entfernt, wodurch das bewegliche System und speciell der Hebel dem Einflusse der Schwere anheimfällt. Sonstige Einzelheiten werden aus der Figur ersichtlich.

Wie dieser Apparat angewendet werden soll, ist leicht einzusehen. Er wird auf einem passenden Stativ befestigt und so angeordnet, dass die freie Spitze des Pferdehaares bei horizontaler oder nahezu horizontaler Lage des Hebels auf der zu untersuchenden Hautstelle ruht. Jetzt wird die Röhre *b*, so weit es die Schraube *r* erlaubt, gehoben, der Knopf *s* wird angedrückt und die Röhre *b* wieder ganz heruntergesenkt, wodurch die Spitze des Hebels in die Höhe geführt wird. Wird nun der Knopf *s* freigelassen, so fällt die gehobene Hebelspitze herunter und indem sie ihre ursprüngliche Lage wieder einnimmt, ertheilt sie der zu untersuchenden Hautstelle einen leisen Stoss. Nach geringer Uebung lernt man leicht diese Griffe ein- bis zweimal in der Secunde ausführen. Ist der Stoss zu schwach, umempfunden zu werden, so kann er verstärkt werden, sei es durch Drehung des Gegengewichts in geeigneter Richtung oder durch Aufwärtsbewegung der Stellschraube. Ist er dagegen zu stark, so wird dem in umgekehrter Weise ebenso leicht geholfen. Die meisten Versuche habe ich bei einer und derselben Fallhöhe ausgeführt, also ohne die Schraube *r* zu bewegen. Nur in den Fällen, wo durch Drehung des Gegengewichts bei dieser fixen Fallhöhe die genügende Intensität des Stosses nicht zu erlangen war, habe ich den Ausweg benutzt, die Fallhöhe zu vergrössern.

Eine Scala, um die Fallhöhe zu messen, war um so weniger nöthig, als eine genauere Kenntniss der Fallhöhe, ein sehr geringes Interesse hat. Wir können dieselbe nämlich für die Berechnung des mechanischen Effekts des der Haut mitgetheilten Stosses nicht verwerthen. Bei der geringen Schwere des beweglichen Systems spielen die Reibung und der Luftwiderstand eine allzu grosse und unbestimmbare Rolle, um eine Berechnung der lebendigen Kraft des Stosses zu erlauben. Eine derartige Berechnung erweist sich als in noch höherem Grade illusorisch, wenn man bedenkt, dass ein grosser Theil der lebendigen Kraft des Stosses von der Elasticität des Hebels aufgenommen wird.

Wir müssen uns darum mit einer empirischen Graduirung des Apparates begnügen. Diese Graduirung ist auch sehr leicht auszuführen. Die ganze hierzu nöthige Geräthschaft besteht in einer galvanischen Kette (ein einziges Element ist genügend), einem Federcontact mit Stellschraube, einem Marcel-Desprez'schen elektrischen Signalapparat, einigen Leitungsdrähten und einem Gewichtsatz. Der Kettenstrom wird durch den Federcontact und den elektrischen Signalapparat geführt. Will man nun wissen, wie kräftig der Stoss ist, welcher die Spitze *p* bei einer gewissen Fallhöhe und einer gewissen Stellung des Gegengewichts der Unterlage mittheilt, so mag man diese Spitze auf die Contactfeder fallen lassen und dabei die Stellschraube reguliren bis der Stoss eben hinreicht, um den Contact für einen Augenblick aufzuheben, was dann von dem elektrischen Signalapparat durch einen läutenden Anschlag des Ankers angekündigt wird. Suchen wir dann durch allmähliche Belastung der Contactfeder das Gewicht auf, welches eben im Stande ist den Contact zu lösen, so stellt dieses Gewicht das gerade gesuchte Maass der lebendigen Kraft dar. Man würde natürlich durch die Ermittelung dieser Grösse für verschiedene Lagen des Gegengewichts und der die Fallhöhe begrenzenden Stellschraube (*r*) und, wenn nöthig, durch Interpolation eine Tabelle für den Apparat einrichten können. Es ist aber zu befürchten, dass diese Tabelle besonders der Veränderlichkeit der Reibungsverhältnisse zufolge sich oft als unzuverlässig erweisen würde. Darum habe ich es vorgezogen, jedesmal, wo es nur erwünscht war den absoluten Werth des angewandten reizenden Stosses kennen zu lernen, denselben unmittelbar nach dem Versuche direct zu messen. Die Vorsichtsmaassregeln, welche bei derartigen Messungen nöthig sind, einzuhalten, sind derart, dass sie demjenigen, welcher sich mit Untersuchungen auf dem physiologischen oder physikalischen Gebiete überhaupt beschäftigt, nicht ausdrücklich angezeigt zu werden brauchen.

Was nun die mit diesem Apparate ausgeführten Versuche betrifft, so eignen sie sich ihrer Natur wegen nicht gut in einem Versuchsprotokolle mitgetheilt zu werden, d. h. ihr Werth und ihre Zuverlässigkeit würden kaum ohne Controle durch eigene Versuche aus einer dieser ausführlichen und detaillirten Darstellungen beurtheilt

werden können. Eigene Controlversuche allein können die nöthigen Zeugnisse liefern und die subjective Ueberzeugung einflössen. Ich muss mich darum auf die Erzählung der Resultate beschränken, wie sie sich bei den an mir selbst ausgeführten Untersuchungen gestaltet haben.

Die erste Frage, welche ich zu beantworten hatte, war die, ob es überhaupt möglich sei, die Lage der einzelnen angenommenen Tastorgane in der Haut nachzuweisen. Dabei kann man beispielsweise derart zu Wege gehen, dass man innerhalb eines begrenzten Gebietes den empfindlichsten Punkt aufsucht, d. h. denjenigen Punkt, wo der schwächste Stoss die intensivste Empfindung gibt. Vermindert man nun die Kraft des Stosses bis das Herunterfallen des Hebels auf diesem Punkte eben nur eine bemerkbare Empfindung erweckt, so wird man finden, dass gar keine Empfindung entsteht, wenn die Hebelspitze mit derselben Kraft gewisse andere Punkte in dem zunächst umgebenden Felde trifft. Hie und da in der Umgebung wird man aber auch einzelne isolirte Punkte treffen, welche für denselben Reiz empfindlich sind. Lässt man nun die Energie des Stosses um ein wenig wachsen, so löst er Empfindungen nicht bloss in gewissen isolirten Punkten aus, wie eben angedeutet, sondern jeder empfindliche Punkt wächst gleichsam zu einem kleinen Kreis aus, innerhalb welchem die Reizung eine mehr oder weniger bemerkbare Empfindung erweckt. Wohl kommt es auch vor, dass dieses kräftigere Reizmittel mehr empfindliche Punkte und Kreise innerhalb derselben Region an den Tag bringt, als das schwächere. Dieser Sachverhalt kann aber nicht gut in anderem Sinne gedeutet werden, als dass ein Theil der Tastorgane tiefer liegt oder weniger empfindlich ist. Unser Versuch lehrt uns ausserdem, dass der Stoss, wenn er die hinreichende Intensität hat, auf die Tastorgane auch dann reizend wirkt, wenn er nicht gerade den Punkt der Hautoberfläche trifft, welcher genau senkrecht über einem solchen Organ liegt. Die Richtung des Druckes ist also nicht von wesentlicher Bedeutung für Reizung der Endapparate des Drucksinns[1]).

---

1) Vergleicht man dieses Verhalten mit dem von Meissner angegeben, dass keine Druckempfindung entsteht, wenn man die Finger in eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, hineintaucht, auch nicht wenn man den Finger in eine genau nach

Die nächste Frage, welche wir zur Beantwortung aufgenommen haben, welche unserer Hauptaufgabe am nächsten lag und sogar als leitender Gedanke uns zu diesen Untersuchungen führte, ist diese: ob die Endapparate des Drucksinns überhaupt in Beziehung zu denen des Temperatursinns stehen? Die Antwort haben wir schon angedeutet. Einen klaren Ueberblick über das hierauf bezügliche Verhalten gibt die Fig. 2. Diese Figur stellt eine topographische Karte in natürlicher Grösse dar über die Kalt-, die Warm- und die Druckpunkte einer Handfläche an der linken Handwurzel des Verfassers. Die Kaltpunkte sind grün, die Warmpunkte roth und die Druckpunkte schwarz gedruckt. Es kann also darnach keine Rede mehr davon sein, dass wir nicht gesonderte Endapparate haben für die verschiedenen Empfindungen der Kälte, der Wärme und des Drucks.

In dem ersten Abschnitte dieser Abhandlung (Bd. 20 S. 17) habe ich Versuche mit elektrischer Reizung angeführt, welche meine theoretisch begründete Ansicht in dieser Hinsicht stützten, ohne dass ich es jedoch damals wagte mich für eine solche Deutung meiner Erfahrungen bestimmt auszusprechen. Jetzt hege ich in diesem Bezug kein Bedenken mehr. Die streng localisirte elektrische Reizung, wenn sie in passender Stärke an verschiedenen Punkten der Haut angebracht wird, kann, abgesehen von der Schmerzempfindung, nicht allein die Empfindung der Kälte und die der Wärme, sondern auch die des Drucks auslösen, wenn dies auch mit einem von der rhythmischen Wirkung des Reizmittels abhängigen besonderen Charakter dieser Empfindung geschieht.

Eine nähere Auseinandersetzung der Topographie der specifischen Druckempfindungsorgane ist eine Herkulesarbeit, worauf ich mich nicht einlassen kann. Meine Untersuchungen in dieser Hinsicht umfassen nur die Haut meiner linken Hand und des gleichseitigen Unterarms, ebenso wie einige Stellen der unteren Extremitäten.

demselben aus Paraffin gegossene Form drückt, so scheint mir die mit allen diesen Thatsachen einzig zusammenstimmende und darum plausible Auffassung die zu sein, dass ein verschiedener Druck von verschiedenen Seiten eine nothwendige Vorausetzung ist für die Reizung der peripherischen Tastorgane.

Nach dem, was ich bisher gesehen habe, gilt sonst von diesen Organen dasselbe, was ich in Bezug auf die Kalt- und Warmpunkte ausgesprochen habe. In der Vola manus und vor allem an den Fingerspitzen haben meine Untersuchungen zu keiner deutlichen Isolirung der einzelnen Druckpunkte geführt, an dem ersterwähnten Ort hauptsächlich wegen der Steifheit der Haut, wodurch die Localisirung des Drucks auf einem Punkte, respective auf einem ganz kleinen Flecke unmöglich gemacht wird, und an dem letzterwähnten Ort ausserdem wahrscheinlich deswegen, weil die bezüglichen Organe daselbst zu dicht zusammenstehen.

IV.

Es bleiben noch einige Fragen zu besprechen, welche wohl eigentlich unseren Gegenstand, die specifische Energie der Hautnerven, nicht direct berühren, welche aber doch in dem nächsten Zusammenhange mit meinen Untersuchungen über die Empfindungsorgane stehen.

Wie verhält es sich mit der Reizbarkeit dieser Organe? Auf eine nähere Erörterung der Untersuchungen einzugehen, welche ausgeführt worden sind, um die absolute und relative Feinheit des Drucksinns zu ermitteln, würde zu weit führen. Die Hauptresultate mögen genügen. Die klassischen Untersuchungen Weber's bilden die Grundlage auch für diesen Theil der Sinnesphysiologie. Auf seine Erfahrung gestützt, glaubte Weber behaupten zu können, dass alle einzelnen Empfindungsorgane in der Haut eine gleiche Reizbarkeit besitzen, und dass, wenn man die Druckempfindlichkeit in verschiedenen Theilen der Haut verschieden findet, dieser Sachverhalt auf anderen Umständen beruht und zwar auf der Beschaffenheit der Haut, auf der Tiefe, in der die sensiblen Organe sich befinden, auf der Unterlage, auf der Zahl der Organe in der Oberflächeneinheit. Die Aubert-Kammler'schen Untersuchungen gingen darauf aus, zu entscheiden, ob die Meissner'schen sog. Tastkörperchen wirklich Organe grösserer Reizbarkeit sind im Vergleich mit den übrigen zu demselben Zwecke dienenden Apparaten in der Haut. Sie deuteten ihre Versuchsergebnisse zu Gunsten dieser Auffassung. Sicher ist, dass dieselben in keinem Widerspruche damit stehen.

Was meine eigenen Untersuchungen betrifft, so haben sie auch ergeben, dass die Reizbarkeit an den Stellen der Haut, wo die Meissner'schen Körperchen vorkommen, viel grösser ist, als an den übrigen Orten der Haut. Leider kann ich eben wegen dieser excessiven Reizbarkeit kein Maass für dieselbe angeben. Dazu würden feinere experimentelle Hilfsmittel, als die von mir benutzten, erforderlich sein. Dass diese unvergleichbar grössere Reizbarkeit einer specifischen Eigenschaft der Meissner'schen Körper zuzuschreiben ist, dürfte wohl ziemlich sicher sein. Sie kann wenigstens nicht von der Beschaffenheit der Haut abhängen, denn diese ist ja auf den Fingerspitzen nicht nur dicker, sondern auch steifer als z. B. auf dem Handrücken. Auch nicht durch die Annahme einer oberflächlichen Lage der bezüglichen Apparate in diesen Theilen kann der grosse Unterschied erklärt werden. Die Versuche zeigen nämlich, dass sie auch auf der Rückseite der Hand besonders oberflächlich liegen müssen, weil die für minimale Reize empfindlichen Stellen hier allgemein so gut wie punktförmig sind.

Es kommen aber auch an den übrigen Körperflächen nicht unbedeutende Variationen in der Erregbarkeit vor, sogar so grosse, dass ich fürchte, sie können nicht von den localen Verhältnissen abhängen, sondern es müsse der Weber'sche Satz über die gleiche Erregbarkeit der Tastorgane modificirt werden. So fand ich das Minimum perceptibile für die Druckpunkte meines Handrückens einem momentanen Druck von 0,20^{g} entsprechend, während es schon auf der Mitte des Unterarms zu 0,33^{g} und auf dem linken Oberschenkel bis zu 1,30^{g} steigt.

Wie verhält sich die Grenzerregbarkeit auf den zwischen den einzelnen Druckpunkten gelegenen Hautpartien? Das hängt natürlich von der Fortpflanzung des Druckes in der Haut ab, ebenso wie davon, wie dicht die einzelnen Druckpunkte neben einander vorkommen. In der That ist der Unterschied viel grösser als man a priori erwarten sollte. Ich will nur ein Beispiel anführen. Auf der Dorsalseite meiner linken Hand in der Nähe der Handwurzel fand ich das Minimum perceptibile für eine Gruppe nahestehender Druckpunkte im Durchschnitt gleich 0,23^{g}, während 1,5^{g} von ge-

wissen zwischenliegenden Punkten keine merkbare Empfindung hervorrief.

Auf Grund der grossen Bedeutung für den Tastsinn, welche durch die Aubert-Kammler'schen Versuche den Wollhaaren zuertheilt worden ist, fühle ich mich aufgefordert die Frage zur Beantwortung aufzunehmen, ob die also um die Haarwurzeln herum sowohl anatomisch als functionell nachgewiesenen Nervenapparate die einzigen in der Haut vorkommenden Tastapparate sind, oder ob es noch andere gibt. Die Untersuchung zielte darauf hin zu entscheiden, ob die Druckpunkte mit den Haarpapillen örtlich zusammenfallen. In Bezug auf die Theile der Haut, wo keine Haarfollikel vorkommen, ergibt sich die Antwort von selbst. Bezüglich der Theile aber, welche mit Haaren bekleidet sind, ist die Frage nicht so leicht zu entscheiden. Auf der Rückseite der Hand fand ich indessen recht viele Druckpunkte zwischen den Haarfollikeln. Mehr spärlich kamen sie vor, je höher auf den Arm hinauf gesucht wurde, und auf dem Oberschenkel gelang es mir überhaupt gar nicht, Druckpunkte zwischen den Haarpapillen aufzufinden. Ich sehe indessen diese Frage hiermit nicht als völlig erledigt an. Auf meiner Hand und meinem Arm, wo ich Druckpunkte zwischen den Haarfollikeln gefunden habe, sind diese letztgenannten sehr schwach entwickelt. Es lässt sich darum die Möglichkeit einräumen, dass, wiewohl ich die gefundenen und markirten Druckpunkte mit der Lupe musterte, dennoch einige rudimentäre Haarpapillen meiner Aufmerksamkeit entgangen seien.

Auf der anderen Seite könnte es fraglich sein, ob wirklich alle Haarwurzeln mit diesen die Druckempfindung specifisch vermittelnden Nervenapparaten ausgestattet sind. Diese Frage gehört zu denen, welche nicht ohne weitumfassende Untersuchungen endgültig beantwortet werden können. So viel wage ich doch auf Grund meiner Erfahrung auszusprechen, dass wahrscheinlich alle Haare Tasthaare sind.

Zum Schlusse einige Worte, veranlasst durch die Behauptung Weber's, es solle in dem Narbengewebe der Temperatursinn verloren gegangen, der Drucksinn aber erhalten sein. Es erscheint aber unerwartet, dass die specifischen Endapparate des Druck-

sinns allein, nicht aber die des Temperatursinns bei der Narbenbildung regenerirt werden sollten. Wie sich Weber, der ja die Endapparate des Temperatursinns und des Drucksinns identificirte[1]), die Sache vorstellte, darüber lässt er uns unaufgeklärt. Wir können aber leicht einsehen, wie ihn seine Untersuchungen zu dem aufgestellten Satze führten. Er übersah nämlich die Fortpflanzung des Drucks durch die Narbe zu dem umgebenden normalen Gewebe.

Meine Untersuchungen geben keinerlei Regenerationen von specifischen Endapparaten, es mögen diejenigen des Temperatur- oder des Drucksinns sein, eine Stütze. Ich habe nämlich im echten Narbengewebe weder Druck-, noch Kalt-, noch Warmpunkte gefunden.

V.

Da wir von der Haut nicht bloss Temperatur- und Druckempfindungen, sondern auch Schmerzempfindungen auslösen können, so würde zunächst obliegen zu entscheiden, ob wir auch specifische Nervenapparate zur Auslösung der Schmerzempfindungen in der Haut besitzen. Die allgemeine Meinung in dieser Frage ist wohl die, dass alle sensiblen Nerven, hinreichend intensiv gereizt, zu den Centralorganen eine Erregung fortpflanzen können, welche zur Schmerzempfindung führt. Zwar hat man diese Auffassung als Einwand gegen das Gesetz der specifischen Energie der Nerven angeführt, weil ja nach derselben die Reizung eines und desselben Nerven unter verschiedenen Umständen verschiedene Empfindungen geben sollte, z. B. einmal Wärme- ein andermal Schmerzempfindung. Diese Schwierigkeit kann man aber umgehen mit Hilfe einer Hypothese, welche theilweise von den Versuchen bestätigt wird. Nach dieser Hypothese würde eine Nervenerregung ausser durch die gewöhnlichen Leitungsbahnen auch durch die graue Substanz des Rückenmarks nach den Centralapparaten geleitet werden können. Es soll nun die auf diesem Wege anlangende Erregung die sein, welche die Schmerzempfindung auslöst. Dass schwächere Erregungen nicht auf dieser Bahn geleitet werden, hat

1) Er nimmt übrigens in dieser Frage keinen festen Standpunkt ein. Vgl. R. Wagner, Handwörterb. d. Physiol. Bd. 3 S. 550.

man durch die Annahme eines grösseren Widerstandes in der grauen Substanz erklären wollen. Dass die Schmerzimpulse auf dieser Bahn geleitet werden, ist experimentell nachgewiesen, und dass dieselbe Bahn einen grösseren Widerstand setzt, gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch den Umstand, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf der genannten Bahn langsamer ist. Alle sonstigen Beobachtungen aufzuzählen, welche für diese Hypothese sprechen, würde zu umständlich werden. Ebensowenig will ich mich auf die gegen dieselbe gemachten Einwände einlassen. Ich will mich vielmehr darauf beschränken, die Resultate meiner eigenen Bemühungen, die Sache auf experimentellem Wege aufzuklären, hier zur Erörterung kommen zu lassen.

Es galt dabei zu entscheiden, ob es in der Haut specifische Endapparate für die Schmerzsinne gibt oder nicht. Wenn sie vorhanden seien, wäre zu vermuthen, dass sie ziemlich dicht neben einander ständen, weil ja doch der Schmerz gerade wie die Druckempfindung von jedem, sogar dem kleinsten Punkte der Haut ausgelöst werden kann. Oder aber sollte es sich mit den Reizmitteln des Schmerzes so wie mit dem Drucke verhalten können, dass die Wirkung derselben sich ausserhalb der Grenzen des Angriffspunkts verbreitet? Lasset uns daher der Sicherheit halber ein Reizmittel wählen, dessen Wirkung örtlich möglichst beschränkt bleibt.

Ich habe das einfache Verfahren gewählt, eine Knopfnadelspitze senkrecht in die Haut so weit einzustechen bis Schmerzempfindung entsteht. Diese Versuchsweise ist zwar nicht besonders neu, jedoch hat aber die methodische Anwendung derselben zu recht beachtungswerthen Resultaten geführt. Bei diesem Versuche wurde ich bald gewahr, dass man hie und da die Nadelspitze ziemlich tief in die Haut einführen konnte, ehe die geringste Schmerzempfindung zu bemerken war, während gewisse Punkte so empfindlich waren, dass ein leiser Druck auf die Nadel genügte um Schmerz hervorzurufen. Ich constatirte dann meine Beobachtungen durch Versuche an Anderen, sogar an geübten und kritischen Beobachtern. Dass die Haut am empfindlichsten ist, respective ihre Schmerzreizbarkeit am grössten, wo sie am dünnsten und nervenreichsten ist, versteht sich von selbst. Aber auch an solchen Stellen, wie z. B. an der Hand und im Gesicht, trifft man hie und da verhältnissmässig unempfindliche Punkte.

Am zahlreichsten habe ich sie jedoch an der Haut des Rückens gefunden, wo die Nadelspitze oft mehrere Millimeter tief eingesenkt werden kann, ohne dass eine Spurvon Schmerz wahrgenommen wird.

Diese Thatsache, dass für Schmerz unempfindliche Punkte hie und da sogar bei ganz gesunden Individuen angetroffen werden, ist besonders denjenigen zur Beachtung zu empfehlen, welche sich mit den Krankheiten des Nervensystems, respective deren Diagnostizirung beschäftigen.

Um endlich einen Ueberblick über die Topographie der Schmerzempfindlichkeit, wenigstens auf einem kleinen Gebiete zu erhalten, benutzte ich folgendes einfache Verfahren. Ich hatte gefunden, dass nach jedem Einstiche eine kleine Grube in der Haut sehr lange zurückblieb und zwar grösser oder kleiner, je nach der Tiefe des Einstichs. Ich machte darum die Einstiche möglichst dicht neben einander und jeden von der Tiefe, welche nöthig war, um merkbaren Schmerz hervorzurufen. In dieser Weise erhielt ich ein wenn auch flüchtiges Bild, welches die örtliche Vertheilung der Schmerzempfindlichkeit auf dem untersuchten kleinen Gebiete auschaulich machte. In diesem Bilde waren tiefe und seichte Grübchen ohne sichtbare Ordnung unter einander gemischt. .Dies giebt wahrhaftig der Annahme von specifischen Endapparaten des Schmerzsinns keine Stütze. Gibt es solche, so werden andere Methoden erforderlich, um dieselben nachzuweisen. Meine Erfahrungen sprechen aber dafür, dass der Schmerz entsteht, wenn die Gewalt den sensiblen Nervenfaden selbst trifft, er mag sonst peripherisch mit einem Endorgane beliebiger Natur verbunden sein.

Hauptergebnisse.

1. In der Haut kommen dreierlei specifische Nervenapparate vor, einer für Wärme, einer für Kälte und einer für Druck.
2. Durch Anwendung geeigneter Reizmittel, elektrische oder specifische, kann deren örtliche Lage, wenigstens der in den oberflächlichsten Hautlagen enthaltenen, nachgewiesen werden.
3. Damit ist auch die Möglichkeit gegeben, jedes einzelne Organ für sich in Bezug auf Reizbarkeit u. s. w. zu untersuchen.
4. Für den Schmerzsinn sind keine specifischen Organe in der Haut nachgewiesen.

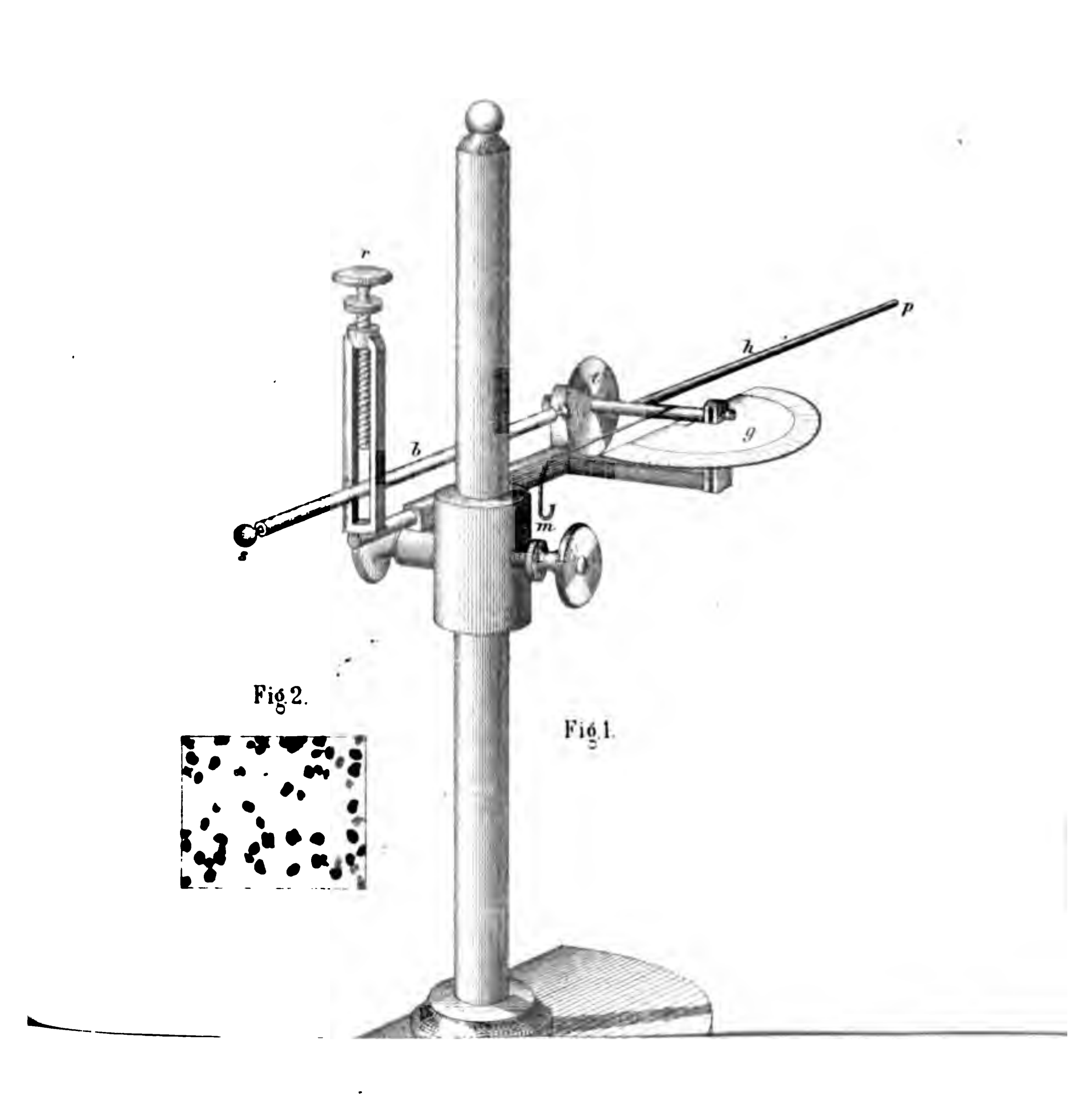


Fig. 2.

Fig. 1.



Beobachtungen und Bemerkungen über den Flug der Vögel.[1])

Von

Dr. Magnus Blix

aus Upsala.

Der Flug der Vögel gehört zu denjenigen Erscheinungen, welche gewiss zu allen Zeiten das lebhafte Interesse des aufmerksamen und denkenden Theils der Menschheit gefunden haben. Er hat auch nicht allein ein wissenschaftliches, sondern auch ein rein praktisches Interesse. In der Literatur finden sich daher unzählige Versuche verzeichnet, dieses Problem zu erklären oder zu beleuchten. Dass keine vollständige Lösung bisher gefunden wurde, beruht nicht auf Mangel an Fleiss oder Scharfsinn unserer Gelehrten und Forscher, sondern nur darauf, dass uns noch so viele nöthige Vorarbeiten mangeln. In dem Maasse als diese fortschreiten, tritt die Hauptfrage immer klarer hervor. Unsere Zeit, welche so grosse Fortschritte auf dem Gebiete der naturwissenschaftlichen Forschung macht, ist auch für die Aufklärung dieser Frage sehr fruchtbar gewesen.

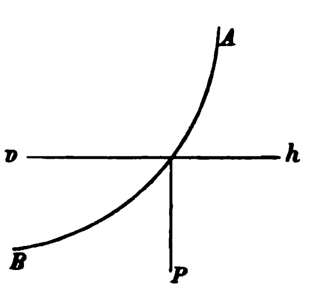
Ich will den Leser nicht mit einer Aufzählung selbst der wichtigsten hierhergehörigen Publicationen ermüden. Derjenige, welchem vor Allen die Ehre zukommt, diese Frage ihrer Lösung näher gebracht zu haben, ist Professor Marey in Paris. Dazu hat er ebenso viel durch seine umfassenden und sinnreichen Versuche als durch seine ausgezeichnete Darstellung beigetragen. Es darf des-

1) Vortrag, gehalten in Upsala Läkareförening September 1884.

wegen nicht Wunder nehmen, wenn ich bei der näheren Behandlung einiger Punkte des Gegenstandes im Folgenden Vieles wiederholen werde, was er schon und zwar viel besser gesagt hat.

Die thierische Ortsbewegung überhaupt ist eine Erscheinung, welche wir auf den ersten Blick für äusserst einfach zu erfassen und zu erklären halten, welche aber bei näherer Betrachtung und zwar von wissenschaftlich-physikalischem und mechanischem Gesichtspunkte sich als ein höchst verwickeltes Problem zeigt, und in der That ist es der Wissenschaft nur unvollständig gelungen dasselbe zu lösen. Hierzu trägt auch die Mannigfaltigkeit der Mittel und Wege, welcher sich die Natur zu diesem Zwecke bedient, bei. Diese Mannigfaltigkeit ist zum Theile eine nothwendige Folge der Verschiedenheit der Medien, in welchen die Thiere leben, und vor allem der Beschaffenheit des Mediums, in welchem das Thier die Stütze für seine Bewegungen zu suchen hat. Der Bewegungsmechanismus muss nothwendigerweise ein anderer sein, wenn diese Stütze eine vollkommen feste und unnachgiebige ist, wie der Erdboden, als wenn diese in dem leichtbeweglichen Wasser oder in der noch nachgiebigeren Luft zu suchen ist. Die angewendeten Mittel unterliegen aber in jedem dieser Fälle den mannigfachsten Modificationen. Wie weit ist doch der Bewegungsmechanismus der Säugethiere von dem der Schlangen, oder dem der Regenwürmer, oder dem der Schnecken verschieden! Noch zahlreicher sind die Locomotionsarten der Wasserthiere. Auch die in der Luft fliegenden Thiere bieten nicht *wenige*, wenn auch nicht so *grosse* Verschiedenheiten in Bezug auf die Anwendung des Luftwiderstandes zu Gunsten der Locomotion dar. Wir sehen ja von den Vögeln einige in der Luft schweben mit unbeweglichen Flügeln, andere ein oder zwei Flügelschläge in der Secunde machen und wieder andere mit ihren Flügeln so schnell flattern, dass unser Auge die Bewegung derselben nicht aufzufassen im Stande ist. Die Insecten zeichnen sich durch die Schnelligkeit der Flügelbewegungen besonders aus. Die Verschiedenheit besteht aber hierbei nicht nur im Rhythmus, sondern bezieht sich noch auf viele andere Umstände. Was speciell den Flug der Insecten betrifft, so hat er sich wenigstens bei einem beträchtlichen Theil derselben so zu sagen als von verhältnissmässig

primitiver Natur gezeigt. Bei diesen Insecten besteht der Flügel der Hauptsache nach aus einem längs dem einen Rande laufenden steifen Gebilde, einem Blattnerven am nächsten zu vergleichen; das übrige ist ein biegsames Häutchen. Diesen Flügel schwingt nun das Insect, wenn es fliegt, mit dem steifen Rande nach oben, in einer horizontalen oder fast horizontalen Ebene. Die Flügelfläche wird dann bei den Schwingungswendepunkten eine verticale, dazwischen aber eine gebogene Stellung, der obere Rand in der Richtung der Schwingung vorausgehend, einnehmen. Die Bewegungen und die Wirkungsweise der also gebeugten Flügelfläche erinnern zunächst an die Arbeitsart des Fischschwanzes, respective der Schwanzflosse. Lassen wir *A B* einen Verticalschnitt des Insectenflügels sein mit dem Nerv in *A*. Er bewegt sich also in der Richtung gegen *h*. Der Druck, welchen er dabei auf die Luft ausübt, kann in zwei Componenten aufgelöst werden, eine horizontale und eine verticale. Die verticale Componente ist diejenige, welche von dem Insecte angewendet wird um die Schwere zu überwinden. Die horizontale sollte das Insect in der Richtung nach *v* bewegen; wenn aber der Flügel zurückschwingt, wird dieser Impuls zur Vorwärtsbewegung durch eine entgegengesetzte aufgehoben, natürlich vorausgesetzt, dass diese zweite Schwingung ausser in der Richtung mit der ersten identisch ist. Bei diesem Verhalten bleibt das Insect entweder in der Luft stehen oder aber es bewegt sich in verticaler Richtung, je nach der grösseren oder geringeren Kraft, welche es entwickelt. Wenn es in horizontaler Richtung vorwärts zu kommen strebt, hat es nun die Orientirung der Oscillationsebene der Flügel dermaassen zu ändern, dass es nicht mehr ganz horizontal steht. Die vorher verticale Componente wird dann schief und muss somit theilweise das Vorwärtstreiben des Insects bewirken.



Eine andere vielleicht noch einfachere Flugweise ist diejenige gewisser Schmetterlinge. Die Flügel dieser Schmetterlinge sind in ihrer ganzen Ausdehnung steif und werden hauptsächlich in

verticaler Richtung geführt. Dabei müssen die Thierchen beim Senken der Flügel so viel Kraft entwickeln, dass die Reaction nicht allein zur Ueberwindung der Schwere während der ganzen Zeit bis zum nächsten Flügelschlag hinreicht, sondern auch zur Gegenwirkung gegen den schädlichen Einfluss des Hebens der Flügel.

Auch andere und zweckmässigere Anwendungsweisen der Flügel kommen unter den Insecten vor, obschon sie weit entfernt davon sind, vollständig untersucht worden zu sein. Ein grosser Theil der Insecten fliegt ohne Zweifel in derselben Weise wie die Vögel. Einige können ja sogar weite Strecken mit unbewegten Flügeln schweben oder segeln.

Was nun den Flug der Vögel betrifft, so bietet er lange nicht so grosse Verschiedenheiten wie der der Insecten. Ein durchgehender Grundtypus sowohl in Betreff des anatomischen Gerüstes als der physiologischen Function dieses Gerüstes ist durch diese ganze Thierklasse beibehalten. Weniger wesentliche Verschiedenheiten in Bezug auf die Flugweise kommen jedoch vor. Unter diesen ist der verschiedene Rhythmus bei den Bewegungen der Flügel am meisten in die Augen fallend. Im Allgemeinen dürfte man als Regel aufstellen können, dass der Rhythmus bei den kleineren Vögeln schneller ist als bei den grösseren oder richtiger, dass kleine Flügel einen schnellen, grosse dagegen einen langsamen Rhythmus haben. Dabei ist man wohl auch gezwungen nicht allein auf die absolute Grösse, sondern auch auf die relative, d. h. die Grösse der Flügelarea verglichen mit der Grösse des Vogels, Rücksicht zu nehmen. Denn, wenn es zuweilen vorkommt, dass man einen verhältnissmässig grossen Vogel mit in der Regel schnellen Flügelschlägen trifft, so wird man auch im Allgemeinen wenn auch nicht immer finden, dass dieser Vogel verhältnissmässig kleine Flügel hat. Eine nähere Auseinandersetzung des Verhaltens des Flugrhythmus zur Grösse der Vögel liegt leider nicht vor und dürfte auch nicht leicht durchzuführen sein. Tatin[1]) nimmt als eine abgemachte Sache an, dass bei raschem und gleichmässigem Fluge in horizontaler Richtung ein gewisser Punkt, z. B. die Spitze des Flügels, bei derselben Be-

1) Travaux du laboratoire de M. Marey 1876 II, 104.

wegungsphase bei fast allen Vögeln dieselbe Schnelligkeit habe. Der Rhythmus sollte dann allein von der Länge des Flügels abhängen. Ich bin meinerseits der Meinung, dass diese Annahme nicht bewiesen oder theoretisch begründet ist. Nur in dem Falle würde ich damit einverstanden sein können, dass man es mit Vögeln zu thun hätte, welche in allen Theilen untereinander gleichförmig und deren Flugschnelligkeit proportional zum Gewichte wäre.

Aber ausser der Verschiedenheit, welche der Flug der Vögel in Bezug auf den Bewegungsrhythmus der Flügel darbietet, gibt es auch andere Verschiedenheiten, auf welche ich zurückkommen will, nachdem ich eine kurze Beschreibung der Functionsweise des Flugmechanismus, so wie sie sich im Allgemeinen bei den Vögeln darbietet, vorausgeschickt habe.

Ich werde dabei vorerst die Bewegungen des Flügels beschreiben, wie sich dieselben nach der genauen Analyse Marey's bei der Taube im vollen Fluge gezeigt haben. Als Ausgangsstellung denken wir uns den Flügel in seiner gehobensten Lage gespannt. Die Vorderränder beider Flügel liegen dann ungefähr in derselben Ebene, senkrecht gegen die Längsachse des Vogels, und die Flügelflächen sind mit derselben Achse parallel, so dass die Flügel bei der Vorwärtsbewegung des Vogels den möglichst geringsten Widerstand gegen die Luft bieten, der mit der ausgespannten Stellung derselben vereinbar ist. Natürlich bilden dabei die Ebenen der beiden Flügelflächen gegen einander einen mehr oder weniger spitzen Winkel mit der Spitze nach unten. Die erste Bewegung wird nun eine Drehung um die Längsachse des Flügels, so dass die untere Flügelfläche etwas nach hinten zu stehen kommt. Gleichzeitig hiermit bewegt sich der Flügel als Ganzes um seine Achse im Schultergelenke nach unten und vorn. Am Schlusse der Senkung geht der Flügel nach hinten; darnach dreht er sich um den Vorderrand, so dass die untere Fläche nach vorne sieht, und hebt sich darauf schnell, während er gleichzeitig fortwährend nach hinten geführt wird, um, wenn er sich der gehobensten Lage nähert, wiederum um den Vorderrand gedreht zu werden, so dass der Hinterrand sich nach oben bewegt. In derselben Zeit wird der Flügel nach vorn in seine Ausgangsstellung geführt. Während des ganzen somit bezeichneten Verlaufs beschreibt also

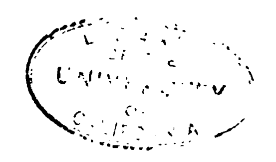
die Flügelspitze eine ovale Figur, deren Längsachse in schiefer Richtung von oben und hinten nach unten und vorne geht. Während der Flügel die Stellungen, welche dem vorderen und unteren Theil dieses Ovals entsprechen, einnimmt, kehrt er seine untere Fläche schief nach hinten, in den übrigen Stellungen schief nach vorn. Die Kräfte, welche diese Bewegungen veranlassen, sind in erster Linie die Contraction der Brustmuskeln, weiter die Elasticität des Schultergelenkmechanismus und endlich der Luftwiderstand. Die Sehne des grossen Brustmuskels pflanzt sich an dem Vorderrand des Oberarmbeins ein, weshalb die Zusammenziehung des Muskels einigermaassen zur Rotation des Flügels während der Senkung beiträgt. Die hauptsächliche Wirkung dieser Zusammenziehung ist aber den Flügel vertical nach unten zu führen. Dass die Bewegung gleichzeitig nach vorne stattfindet, muss dem Luftwiderstande zugeschrieben werden, ebenso wie ein Theil der Drehung auf Rechnung desselben geschrieben werden muss. Nun wird es wohl auf den ersten Blick befremdend erscheinen können, dass der Luftwiderstand nicht eher den Flügel nach hinten zu führen strebt, weil ja doch unserer Annahme gemäss der Vogel schon in Vorwärtsbewegung versetzt ist. Die Erklärung ist aber doch leicht zu finden, wenn man bedenkt, dass die Flügelebene bei der Senkung des Flügels nicht senkrecht gegen die Bewegungsrichtung desselben ist, sondern mit ihr einen nach hinten offenen Winkel bildet. Wir können also den von der Flügelbewegung hervorgerufenen Luftwiderstand in zwei Componenten auflösen: in eine gegen die Schwere antagonistisch wirkende verticale und in eine horizontale, welche in erster Linie den Flügel vorwärts treibt. Die Vorwärtsbewegung des Vogels wird jedoch diese Componente nicht vollständig aufheben können, da sie eben diejenige ist, welche die Geschwindigkeit unterhält. Der Flügel wirkt bei seinem Herunterrücken also nicht in derselben Weise wie ein Ruder in dem Wasser, senkrecht gegen die Ruderebene und der Bewegungsrichtung des Bootes entgegengesetzt, sondern eben wie ein Propellerflügel. Es ist dieses dasselbe Princip, welches in unseren Windmühlen und beim Kreuzen eines Segelschiffs zur Anwendung kommt, nur mit dem Unterschiede, dass in diesen Fällen der Wind die Treibkraft ist und die Windmühlenflügel oder die Segel in Bewegung

gesetzt werden, während in der ersten Phase der Flugbewegung die Kraft von den Flugmuskeln entwickelt und die Luft in Bewegung gesetzt wird, aber auch der Vogel in Folge der Reaction.

Nur die erste Phase der Flügelrevolution wird von der Muskelkraft des Vogels ausgeführt. Die übrigen gehen passiv vor sich. Das Zurückführen des Flügels und die darauf folgende Drehung sind Folgen theils der Elasticität des Flügels und theils der Vorwärtsbewegung des Vogels. Die darauf folgende Hebung, ebenso wie die Rückwärtsbewegung des Flügels rührt von dem Luftwiderstande her, in Folge sowohl der Vorwärtsbewegung des Vogels als der schiefen Haltung der Flügelebene nach unten und vorwärts. Dies alles gilt für die Taube und in den Hauptzügen für die Vögel überhaupt, wenn auch Abweichungen in weniger wesentlichen Theilen oft vorkommen. Die Verschiedenheit des Rhythmus habe ich schon erörtert. Das zeitliche Verhältniss der Senkung und Hebung der Flügel kann auch verglichen werden. Dabei hat Marey gefunden, dass dieses Verhältniss, welches bei der Taube wie 8,5 zu 4 ist, sich beim Bussard wie 20 zu 12,5 und bei der Wildente wie 6,6 zu 5 stellt; oder in runden Zahlen

bei der Taube	wie	2 : 1
beim Bussard	„	5 : 3
bei der Wildente	„	7 : 5

Würde diese Untersuchung auf andere Vögeln ausgedehnt, so würden wir sicherlich noch grössere Differenzen finden. Dass ebenfalls die Amplitude der Flügelexcursionen grossen Variationen unterliegt, ist augenfällig. Aber auch die Form der von der Flügelspitze beschriebenen Figur ist bei verschiedenen Vögeln verschieden. Da die Bewegungen des Flügels in den Richtungen nach vorn und hinten hauptsächlich von der Elasticität des Flügels und von dessen Verbindungen mit dem Rumpfe abhängig sind, so ist es selbstverständlich, dass bedeutende Variationen in dieser Beziehung vorkommen. So hat auch Marey gefunden, dass das Oval, welches der Bussardflügel beschreibt, viel langgezogener ist als der des Taubenflügels und dass die Längenachse des erstgenannten eine mehr verticale Richtung einhält.



Die Frage, ob die zweite Phase der Flugbewegung, die Hebung des Flügels, vollkommen passiv verlaufe, ist streitig. Sicher ist, dass ein Dazwischenkommen einer Muskelwirkung beim Ausführen dieser Bewegung nicht nothwendig ist. Dieses ist zur weiteren Sicherheit auf experimentellem Wege bewiesen worden (von Tatin). Die allgemeine Meinung scheint darum vor der Hand entschieden zu Gunsten einer positiven Antwort auf diese Frage. Indessen bin ich bei meinen Untersuchungen auf Umstände gestossen, welche mich nöthigen, diesen Satz nur mit Reservation zu acceptiren. Bei den Vögeln gibt es einen Muskel, *M. pectoralis medius* genannt, dessen Function darin besteht, den Flügel zu heben. Dieser Muskel ist gewöhnlich sehr klein und unbedeutend. Man darf also von demselben keine grosse oder anhaltende Arbeit erwarten, und dieses stimmt gut mit dem fraglichen Satze. Indess habe ich auch Vogelarten gefunden, bei welchen dieser Muskel sehr kräftig entwickelt war. Leider besitze ich keine numerischen Notizen, obschon ich, von der Grösse dieses Muskels frappirt, denselben gesondert von dem *Pectoralis major* gewogen habe[1]). Es ist dies aber eine Lücke, welche leicht auszufüllen ist. Bei den Hühnervögeln und bei einem Theile unserer Sumpfvögel unterscheidet man den *Pectoralis medius* leicht von dem *Pectoralis major* durch die weisse Farbe des ersteren. Die Zusammenziehung dieses Muskels dürfte sich wohl auch durch die für die weissen Muskeln charakteristische Schnelligkeit des Verlaufs auszeichnen.

Haben nun gewisse Vögel eine verhältnissmässig grosse Muskelmasse, deren einzige Function die ist, die Flügel zu heben, so dürfte wohl auch die Natur diesen Muskeln eine der Masse entsprechende Arbeit auferlegt haben. Auch die Hebung des Flügels muss deswegen bei einem guten Theile der Vögel activ sein, also eine Folge von Muskelzusammenziehung. Ein scheinbares Bedenken bringt aber die Annahme dieser activen Hebung mit sich. Die passive Hebung geschieht immer unter einer grösseren oder geringeren Spannung des *Pectoralis major*, welcher Muskel dann der Hebung ein

1) Nachdem dieses niedergeschrieben war, habe ich die Pectorales *majores* und *medii* eines Rebhuhns gesondert gewogen und gefunden: das Gewicht der beiden *majores* = 74 g, und das der *medii* = 24 g.

Hinderniss in den Weg stellt. Ein Theil der lebendigen Kraft des Vogels wird dann gegen den Einfluss der Schwere nicht allein auf die Flügel, sondern auch auf den Körper im Ganzen wirken. Dann wird es sogar geschehen können, wie es bei der Taube der Fall ist, dass der Vogel sich in die Luft hebt nicht allein bei der Senkung, sondern auch bei der Hebung der Flügel, natürlich auf Kosten der horizontalen Geschwindigkeit. Wird dagegen die Hebung des Flügels activ bewirkt, so kann dies kaum geschehen, ohne dass die obere Fläche des Flügels einen Druck gegen das darüber gelegene Luftlager ausübt. Daraus würde eine Kraft erzeugt werden, welche in derselben Richtung wie die Schwere wirken würde. Und nichts könnte wohl unzweckmässiger sein, als ein derartiger Mechanismus. Indessen würde dann auch eine grössere oder kleinere Componente der Kraft dem Fluge zu Gute kommen, nämlich die horizontale Componente, welche die Geschwindigkeit des Vogels in ihrer Richtung beschleunigen würde. Eine angemessene Neigung der Flügelebene kann demgemäss bewirken, dass die active Hebung des Flügels gewissermaassen die Flugfähigkeit vermehrt. Ist nun auch dieses Raisonnement richtig, so muss doch zugestanden werden, dass es im Ganzen genommen zweckmässiger erscheint, wenn die ganze Brustmuskulatur zu Gunsten der Senkung des Flügels arbeitet, wie es nahezu bei den meisten und flugfähigsten unserer Vögel in der That der Fall ist. Sind aber die Flügel sehr klein und werden sie darum in sehr schnellem Rhythmus bewegt, um den Vogel in der Luft zu tragen, dann kann ja eine schnelle Hebung derselben unter Mitwirkung von Muskelkraft eine nothwendige Bedingung des Flugs werden. In diesem Falle ist eine grosse Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung auch von Bedeutung, weil sie die Luftmasse vermehrt, auf welche die Flügel bei ihrer Senkung wirken, und welche somit die Tragkraft derselben erhöht.

Dass ein Theil der Vögel auch in anderen Hinsichten geringe Abweichungen in Bezug auf die Führung der Flügel darbietet, ist leicht zu beobachten. Die allermeisten Arten haben ja etwas Charakteristisches in ihrem Fluge, das einem gewohnten Auge sie selbst aus der Ferne zu erkennen ermöglicht. Ich will doch auf diesen Gegenstand, welcher vor der Hand mehr zoologisches als physiologisches Interesse hat, nicht weiter eingehen.

Fragen wir lieber: wie viel Arbeit leisten die Vögel, wenn sie fliegen? Das ist eine Frage, deren grosse Bedeutung schwerlich verkannt werden kann. Leider gehört sie auch zu den Fragen, welche nicht beantwortet werden können, und zwar vor allem aus dem Grunde, weil sie gar zu unbestimmt ist. Es ist nämlich leicht zu verstehen, dass der eine Vogel seine Muskeln in zweckmässigerer Weise und auf vollkommnere Flugapparate verwenden kann als der andere, und dass er deswegen das Arbeitsvermögen seiner Muskeln in verhältnissmässig geringerem Grade in Anspruch zu nehmen braucht. Auf der anderen Seite kann sich ein und derselbe Vogel bei verschiedenen Gelegenheiten mehr oder weniger anstrengen. Es ist dasselbe Verhalten wie mit einem geübten Fussgänger, welcher mit verhältnissmässig geringerer Anstrengung seiner Muskeln geht als ein ungeübter, oder wie ein und derselbe Mensch unter verschiedenen Umständen beim Gehen sich sehr ungleiche Mühe macht, nicht allein je nach der grösseren oder geringeren Schnelligkeit des Gehens, sondern auch je nachdem er verschieden ermüdet oder ausgeruht ist u. s. w. Wir müssen also die Frage näher begrenzen, ehe wir daran denken können, zur Beantwortung derselben zu schreiten. Wir können dieselbe z. B. in dieser Weise formuliren: welche ist die grösste oder die geringste Arbeit, welche die Vögel bei ihrem Fluge aufwenden? Auch in dieser Form ist die Frage zu allgemein und muss noch weiter zertheilt werden, ehe sie vollständig beantwortet werden kann. Die Antwort kann möglicher Weise von der Grösse und Form des Vogels, von seinem mehr oder weniger vollendeten Flügelapparate, von der Art und Weise, in welcher derselbe angewendet wird, oder von der Schnelligkeit und Richtung des Flugs abhängen. Begnügen wir uns also damit, das Maximum und Minimum von Arbeit, welche ein gewisser Vogel beim Fluge zur Anwendung bringen kann, zu bestimmen. Kännten wir diese Arbeit und hätten wir die zugehörige Untersuchung für alle Arten von Vögeln durchgeführt, dann wären wir nachher im Stande zu entscheiden, welcher Vogel den zum Fluge am wenigsten, und welcher den am meisten zweckmässigen Flugapparat besässe. Wir könnten dann ausserdem eine Menge anderer hierher gehöriger, höchst interessanter Fragen, z. B. die über den Einfluss des Gewichts des Vogels, über Form

und Grösse der Flügel u. s. w. beantworten. Wie anziehend diese Aussicht auch sein mag, so muss ich doch gestehen, dass ich keine derartige Untersuchung durchgeführt habe, nicht einmal in Bezug auf einen einzigen Vogel. Meines Wissens hat auch, wenn man einige Versuche von Tatin an künstlichen Vögeln ausnimmt, kein Anderer dies gemacht.

Um die Auffassung von dem zu erleichtern, um was es sich eigentlich handelt, sei es erlaubt ein analoges, für unsere Untersuchungen zugänglicheres Beispiel zu wählen, nämlich eine Locomotive. Wir bemerken darum vorerst, dass eine Locomotive, welche sich auf einer horizontalen Ebene bewegt, keine Arbeit in mechanischem Sinne ausführt. Denn eine mechanische Arbeit, welche als das Product einer Kraft und einer Weglänge, welche der Angriffspunkt der Kraft zurücklegt, definirt wird, setzt stetig eine Aenderung der Energie voraus, was auch stattfinden würde, wenn die Locomotive sich auf einer geneigten Ebene nach oben oder nach unten bewegte. Wir wissen aber doch, dass die Locomotive auch für gleichförmige Bewegung auf einer horizontalen Ebene Arbeit aufzuwenden braucht, wenn auch diese Arbeit zur Vermehrung ihrer Energie nicht beiträgt, sondern allein zur Ueberwindung der Reibung dient. Um diese Arbeit zu produciren, wird nun eine gewisse Menge von Kohlen verbrannt. Ein Theil der Verbrennungswärme, also der Energie der Kohle, wird in der Maschine in Arbeit umgesetzt. Diese Arbeit kann berechnet werden, wenn man den Druck des Wasserdampfes in dem Cylinder während einer ganzen Bewegung des Kolbens hin und zurück misst, die Einzelwerthe dieses Druckes mit den zugehörigen Weglängen, welche der Kolben zurückgelegt hat, und mit der Zahl der Kolbenschläge multiplicirt. Um in entsprechender Weise die Arbeit der Flugmuskeln zu berechnen, müssten wir ihre Spannung und Länge in jedem Zeitmomente während der ganzen Flügelrevolution, ebenso wie die Anzahl der Revolutionen messen. Noch ist aber nicht die Zeit gekommen für die Ausführung dergleichen Bestimmungen. Die sichtlich einfachere Rechnung der Flügelschläge stösst schon auf ernstliche Schwierigkeiten.

Es sind aber auch andere Wege denkbar als der eben angegebene, um die Arbeit der Locomotive zu berechnen. Ein solcher

Ausweg wäre gefunden, wenn es uns gelänge die Grösse des Reibungswiderstandes zu messen. Dieses würde etwa für das Flugproblem einer Bestimmung des Widerstandes entsprechen, welchen die Flügel bei ihren Bewegungen zu überwinden haben. Directe Versuche, um auf diesem Wege zum Ziele zu kommen, sind meines Wissens ebensowenig bisher ausgeführt worden; dagegen hat man auf Umwegen das Ziel zu erlangen gesucht. Man hat seit lange von Zeit zu Zeit den Widerstand zu bestimmen versucht, welchen eine durch die Luft mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegende Ebene zu überwinden hat, theils wenn sich diese Ebene in der Richtung der Normalen, theils aber noch in einer anderen beliebigen Richtung bewegt. Hierdurch ist auch ein wichtiger Beitrag zur Lösung unseres Problems gegeben. Es bleibt nun die Geschwindigkeit der Flügelbewegung und die Neigung der Flügelebene, ebenso die Grösse der Flügelarea und, wenn man sehr genau sein will, der Einfluss der buchtigen Form der Flügeloberfläche zu bestimmen. Was übrig bleibt, ist also nicht gar zu wenig. Es ist bis jetzt hinreichend genug gewesen, um auch die kühnsten Experimentatoren abzuschrecken.

Es gibt aber noch einen Ausweg, um die Arbeit der Locomotive zu berechnen, und das ist die Bestimmung der Menge der verbrauchten Kohle. Es ist klar, dass diese Methode ein unsicheres Resultat geben muss. Sie setzt die Kenntniss des Vermögens der Maschine, die Verbrennungswärme zu verwerthen, eine unveränderliche Sorgfalt bei der Heizung u. s. w. voraus.

Die entsprechende, auf unseren Vogel angewendete Methode würde darauf hinzielen, den Unterschied des Stoffwechsels bei dem ruhenden und dem fliegenden Vogel zu bestimmen. Nachdem diese Aufgabe gelöst worden, bliebe es noch zu bestimmen, ein wie grosser Theil der beim Stoffwechsel freigemachten Spannkräfte von den Flugmuskeln in mechanische Arbeit übergeführt worden wäre. Die Angaben über den letztgenannten Punkt wechseln zwischen $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$ bis zu noch weniger, und das schlimmste ist, dass dieser Coefficient hier noch variabler ist als in unseren Dampfmaschinen. Wie ein nachlässiger Heizer unnöthigerweise das Brennmaterial verschwendet, so thut es auch mancher Muskel, wenn reichliche Nahrung vorhanden ist, oder wenn die vorgelegte Arbeit nicht genau

der Arbeitsart des Muskels angepasst ist, abgesehen von anderen Umständen.

Das eine wie das andere zeigt, dass wir noch lange nicht an dem Punkte angelangt sind, um eine bestimmte Antwort auf die aufgeworfene Frage geben zu können. Die Wahrheit ist in der That, dass wir nicht einmal wissen, wie viel Arbeit wir selbst auf unsere Locomotion verwenden, und doch ist dieses Problem in gewissem Sinne bedeutend einfacher als das vorliegende. Alle Arbeit, welche unsere Muskeln dabei ausführen, kommt unserer Ortsbewegung zu gute, so lange wir uns auf fester Unterlage bewegen. Gibt aber der Boden merklich dem Drucke unserer Füsse nach, wie z. B. wenn wir auf losem Sand oder in tiefem Schnee u. dgl. gehen, dann wird ein Theil der Muskelarbeit dazu verwendet, die Form des Bodens zu verändern, und das Gehen selbst erfordert grössere Muskelanstrengung, wovon uns auch der Muskelsinn benachrichtet. Hieraus wird es leicht verständlich, dass die Ortsbewegung des Vogels, welche in einem so nachgiebigen Medium wie die Luft vor sich geht, verhältnissmässig noch viel mehr Arbeit erfordern muss. Besonders lehrreich für eine klare Auffassung dieses Verhaltens ist die Anwendung des Newton'schen Lehrsatzes: Action und Reaction sind gleich. Dieser Satz will das Verhalten ausdrücken, dass die Bewegungsquantitäten auf zwei Massen gleichmässig vertheilt werden, welche von derselben Kraft beeinflusst werden. Unter Bewegungsquantität versteht man bekanntlich das Product der Masse und deren Geschwindigkeit. Nennen wir also die Massen m und m^1 und die Geschwindigkeiten h und h_1, so ist

$$mh = m_1 h_1.$$

Lassen wir z. B. m und h die Masse und die Geschwindigkeit des Vogels sein, und m_1 h_1 die Masse und die Geschwindigkeit der von den Flügelschlägen in Bewegung gesetzten Luft. Die der Luft zuertheilte Bewegungsquantität m_1 h_1 ist natürlich von keinem directen Nutzen für den Flug des Vogels. Da wir nun wissen, dass die zur Erzeugung dieses Bewegungsquantums verwendete Arbeit $\left(\frac{m_1}{2} h_1^2\right)$ proportional der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit ist, so ist es leicht einzusehen, dass es für den Flug am vor-

theilhaftesten ist und am wenigsten Arbeit aufgewendet wird, wenn h_1 möglichst klein ist. Mit anderen Worten: der Flug erfordert von den Muskeln des Vogels um so weniger Arbeit, je geringer die Geschwindigkeit ist, mit welcher die Luft den Flügelschlägen entweicht, oder als Folge davon je grösser die Luftmasse ist, welche von den Flügeln in Bewegung versetzt wird. Zweckmässig ist also die schiefe Bewegung durch die Luft, welche, wie wir gesehen haben, der Flügel ausführt, und wodurch er auf immer neue Luftlagen und zwar auf jedes Lufttheilchen nur verhältnissmässig kurze Zeit wirkt und also einer grossen Luftmasse eine kleine Geschwindigkeit zuertheilt.

Grossen Einfluss hat ja auch sowohl die Form des Flügels als vor allem die Grösse der Flügelarea. Wir sehen deswegen auch überhaupt bei denjenigen Vögeln den besten und ausdauerndsten Flug, welche mit den im Verhältniss zu ihrem Gewichte grössten Flügeln begabt sind.

Von diesem Gedankengange geleitet nahm sich de Lucy vor, bei einer ganzen Reihe fliegender Thiere von verschiedenem Typus das Verhältniss zwischen der Grösse der Flügelarea und dem Körpergewichte zu untersuchen. Es zeigte sich dann, dass einem Gramm des Körpergewichts eine Flügelarea entsprach, die

bei der Mücke	100 qcm
„ dem Schmetterlinge	83,4 qcm
„ der Taube	2,6 qcm
„ dem Storch	1,44 qcm
„ dem Reiher (aus Australien)	0,9 qcm

betrug.

Ich habe diese Untersuchung auf mehrere Vögel ausgedehnt, jedoch so, dass ich in der Area nicht allein die Flügelarea, sondern auch die Projectionsebene des Körpers und des Schwanzes mitaufgenommen habe, den letztgenannten zwar nicht in ausgespannter Form, was jedoch vielleicht am richtigsten gewesen wäre. Diese Flächen finden sich in der 3. Spalte der beigegebenen Tabelle und das Verhältniss zum Körpergewichte in Spalte 11. Ein Ueberblick dieser Spalte und besonders der Zahlen de Lucy's zeigt, dass diese Area in der Regel grösser ist, je kleiner die Thiere.

Dieses ist nun leicht zu verstehen. Sollten die Flügel unbeweglich ausgespannt gehalten werden und somit nur als Fallschirm dienen, dann dürfte die Fläche dem Gewichte des Thieres proportional sein, wenn die Vortheile gleichmässig bei den grossen und bei den kleinen Thieren abgewogen sein sollten. Jetzt kommt indessen die active Bewegung der Flügel mit in Rechnung. Die Wirkung dieser Bewegung wächst nicht proportional mit der Grösse der Fläche bei verschiedener Länge der Flügel; denn bei dem längeren Flügel wird die Wirkung verhältnissmässig grösser, auch wenn wir uns den Flügel in der Richtung der Normalen der Flügelebene durch die Luft geführt denken. Die Geschwindigkeit der einzelnen Theile des Flügels wächst nämlich proportional mit dem Abstande von der Drehungsachse, während der Widerstand mindestens wie das Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Folglich ist ein längerer Flügel bei einer gewissen Winkelgeschwindigkeit wirksamer als ein kürzerer. Denken wir uns dagegen zwei in allen Theilen gleichförmige Vögel, so müssen deren Flügelflächen sich wie das Quadrat der Flügellängen verhalten, und deren Volumina oder Gewichte wie die Cuben derselben Längen, und also die Quadratwurzeln der Flügelflächen wie die Cubikwurzeln der Gewichte. Ist es nun auch möglich, dass diejenige Form des Flugapparats, welche für die Ortsbewegung eines kleinen Vogels oder für die eines anderen fliegenden Thieres zweckmässig ist, für ein grösseres Thier weniger zweckmässig sein kann, so wird es jedenfalls nicht ohne Interesse sein, für das Verhältniss der Grösse des Flugapparats zum Gewichte des Thieres einen numerischen Ausdruck zu besitzen. Dadurch wird es leicht, einen manchmal lehrreichen Vergleich zwischen verschiedenen Thierarten zu Wege zu bringen.

Dieser Gedanke wurde zuerst von Hartings klar gefasst, welcher an mehreren Vögeln und Fledermäusen Untersuchungen anstellte. Die Resultate finden sich in der Tabelle Spalte 10. Daselbst sind ebenfalls einige von Marey ausgeführte Messungen aufgenommen. Zuletzt in der Tabelle findet man die von de Lucy gemessenen Thiere. Ich habe auch einige Vögel in dieser Hinsicht untersucht. Der grösste Theil der Arbeit ist jedoch von dem Herrn Conservator Kolthoff ausgeführt, welcher bei diesen Untersuch-

ungen weder Zeit noch Mühe gespart hat. Er hat auch einen grossen Theil des Materials zu meiner Verfügung gestellt und aus dem reichen Vorrathe seiner Kenntnisse in der Naturgeschichte der Vögel habe ich fleissig geschöpft.

Aus der 10. Spalte der Tabelle sehen wir nun, dass nicht alle Vögel nach demselben Typus gebaut sind. Das Verhältniss zwischen $\sqrt{y}$ und $\sqrt[3]{w}$ variirt durchschnittlich zwischen 5,5 und 2,5 (bei allen in der Tabelle aufgenommenen Thieren zwischen 5,81 und 2,39). In der That können diese Zahlen auf grössere Genauigkeit keinen Anspruch machen; denn die Messung der Flügelarea wird immer bis zu einem gewissen Grade unsicher, welche Verfahrungsart man auch dabei anwenden mag. Hartings und, wie ich glaube, auch Marey sind in der Weise vorgegangen, dass sie auf ein Papier die Umrisse des Flügels zeichneten und nachdem sie auf dieses Papier ein zweites in Quadratcentimeter getheiltes Papier gelegt, die innerhalb der Contouren des Flügels befindlichen Rauten zählten. Kolthoff und ich sind aus gewissen Gründen in anderer Weise verfahren. Wir haben nämlich die Umrisse des Vogels auf möglichst homogenem Pappendeckel (Munksjöpappe) gezeichnet, die somit erhaltene Figur ausgeschnitten und davon den dem einem Flügel entsprechenden Theil abgeschnitten und gewogen. Nachdem wir uns vorher über das Gewicht erkundigt hatten, das einer gewissen Fläche des Pappendeckels entsprach, war es leicht, die Grösse der Flügelarea zu berechnen. Es muss zugegeben werden, dass in der Pappe befindliche Ungleichmässigkeiten möglicherweise zu Fehlern bei der Ermessung des einen oder des anderen Flügels haben Anlass geben können. Diese Fehler dürften jedoch verschwindend klein sein gegenüber denen, welche bei dem Nachzeichnen aus der grösseren oder geringeren Ausspannung des Flügels herrühren. Diese Ausspannung muss darum mit grösster Sorgfalt und Umsicht bewerkstelligt werden. Ist dies geschehen, so kann das Resultat schwerlich ausserhalb der ziemlich weiten, für jede Vogelart von der Natur bestimmten Grenzen fallen. Dass aber diese Grenzen nicht sehr eng sind, können wir leicht einsehen, wenn wir bedenken, dass derselbe Vogel zu einer gegebenen Zeit

fett und schwer, ein anderes Mal mager und bedeutend leichter sein kann, ohne dass die Flügel dabei an Grösse wechseln. Es ist zwar gewissermaassen ein circulus in demonstrando, ich kann aber doch nicht umhin, der Bekräftigung wegen auf die Tabellen hinzuweisen, wo an einigen Stellen mehrere Vögel derselben Art aufgenommen wurden, z. B. *Falco tinnunculus*, *Astur Nisus*, *Grus cinerea*, *Fulica atra* u. s. w.

Ungeachtet dieser Variationen können wir jedoch von einem allgemeinen Ueberblicke einiges lernen. So zeigt es sich unzweideutig, dass der Quotient $\frac{\sqrt{y}}{\sqrt[3]{w}}$ in keinem sichtbaren Verhältnisse zu der Grösse des Vogels steht. Bei den Raubvögeln, sie seien gross oder klein, hält er sich mit wenigen Ausnahmen zwischen 5,0 und 4,5. Bei den Laridae, bei einigen Sumpfvögeln und Sperlingen, ebenso wie bei den Fledermäusen hält er sich, wenige Fälle ausgenommen, zwischen 4,5 und 3,5; bei den Tauben ist er 3,5. Am niedrigsten liegt er bei den Enten, bei einem Theile der Sumpfvögel und bei den Hühnervögeln. Es ist unbestreitbar, dass er überhaupt am grössten ist bei den Vögeln, welche den andauerndsten Flug besitzen und vor allem bei denen, welche, wie die Raubvögel und die langflügeligen Schwimmvögel, oft mit unbewegten Flügeln segeln. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Vögel, welche sowohl schnell als anhaltend fliegen, ungeachtet der Quotient verhältnissmässig klein ist, wie z. B. die Tauben, die Waldschnepfen u. a. Ich möchte sogar zu diesen auch die Krickente und die *Fuligula glacialis* zählen, welche gerade zu denjenigen gehören, welche den allergeringsten Quotienten haben.

Hier kommen ohne Zweifel andere Umstände hinzu, welche die Flugfähigkeit bedingen. Einer von diesen ist natürlich die grössere oder die geringere Kraft, mit welcher der Vogel seine Flügel bewegt, oder besser die grössere oder geringere Arbeit, welche der Vogel in der Zeiteinheit auf den Flug zu verwenden im Stande ist. Es gilt also ein relatives Maass für das Arbeitsvermögen der Flugmuskeln bei den verschiedenen Vogelarten zu bekommen. Nichts ist leichter. Wägen wir ganz einfach diese Muskeln. Es ist nämlich

im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Leistungsfähigkeit der Muskeln, d. h. die Summe von Arbeit, welche sie in der Zeiteinheit verrichten können, ungefähr proportional ihrem Gewichte ist.

Natürlich darf man nicht denken, dass der Vogel ohne Noth und jedesmal für längere Zeit die ganze Leistungsfähigkeit der Flugmuskeln in Anspruch nimmt, sondern dass er beim gewöhnlichen, ruhigen Fluge nur einen gewissen Bruchtheil davon anwendet, wahrscheinlich verschieden bei verschiedenen Vogelarten. Das Gewicht der Brustmuskeln ist somit, strenge genommen, nur als ein Maass für die maximale Arbeit zu betrachten, über welche der Vogel beim Fluge zu verfügen hat. Marey gibt an, ich weiss nicht aus welchen Gründen, dass das Gewicht der Brustmuskeln bei den Vögeln etwa 1/6 des Gesammtgewichts des Vogels ausmache. Einige von den Wägungen Hartings' zeigen jedoch, dass dieses keine allgemein gültige Regel ist. Die Spalte 2 unserer Tabelle spricht das Gewicht der Brustmuskeln (*Mm. pectorales majores*, *medii* und *minores*) bei verschiedenen Vögeln aus, die Spalte 8 zeigt das Verhältniss des gesammten Körpergewichts zum Gewichte der Brustmuskeln, und endlich ist in der Spalte 9 das Gewicht der Brustmuskeln in Grammen für 100^{g} des Vogels angegeben. Eine schnelle Uebersicht über diese letztgenannte Spalte zeigt, dass das Gewicht der Brustmuskeln zwischen 30 und 10 % des Gesammtgewichts variirt, ja sogar in ein paar Fällen unter 10 % heruntergeht; und endlich bei ein paar Fledermäusen, welche Hartings untersucht hat, durchschnittlich bis 7 und 6 % heruntersinkt [1]). Halten wir uns zu den Vögeln, so dürfen wir die untere Grenze bei 10 % setzen können. Das Exemplar vom Haubentaucher, für welches der Zahlenwerth bis zu 9,33 heruntersank, war ausgehungert, konnte aber doch fliegen. Vielleicht war dasselbe der Fall mit dem *Strix Tengmalmi*, für welchen die Zahl 9,61 notirt worden ist. Eine nähere Untersuchung zeigt, dass die Flugmuskeln bei den Raubvögeln klein sind, mit Ausnahme des Sperbers. Dieser hat auch, um zu den Raubvögeln gezählt zu werden, eine verhältnissmässig kleine Flügelarea. Klein sind auch

---

1) Hartings hat durchgehend niedrigere Gewichte für die Brustmuskeln gefunden als wir.

die Flugmuskeln bei der Familie *Rallidae* ebenso wie bei den Fledermäusen. Dagegen zeichnen sich alle Arten der Familie *Scolopacidae* durch ihre grossen Brustmuskeln aus, ebenso die Tauben, das Rebhuhn, die Lerche, einige von den Sperlingen und, wie gesagt, der Sperber. Die Beobachtung scheint also zu bestätigen, was unser Raisonnement an die Hand gegeben, dass nämlich die Entwicklung der Brustmuskeln und der Flügel sich theilweise gegenseitig suppliren können, dass also ein Vogel mit kleinen Flügeln schnell und anhaltend fliegen kann, wenn er nur über kräftige Muskeln verfügt um sie in Bewegung zu halten, und dass umgekehrt Vögel mit sehr kleinen Flugmuskeln durch die Hilfe grosser Flügel die Arbeit dieser Muskeln völlig verwerthen können und somit gute Flieger werden. Beispiele beider Arten liefern die Taube und der Wespenbussard. Ich habe aus diesem Grunde eine 12. Spalte in der Tabelle gebildet durch Multiplication der 9. und 10. Spalte in der Absicht, dass diese Spalte vorläufig den theoretischen Werth der Flugfähigkeit der Vögel angeben sollte. Ich weiss wohl, dass man dagegen bemerken wird, dass, wenn auch die Flugfähigkeit ohne Zweifel eine Function der relativen Grösse der Brustmuskeln und der Flügelarea ist, es jedoch lange nicht abgemacht ist, dass die Flugfähigkeit proportional der relativen Grösse der Flügelareen wachsen müsse. Die gefundenen Zahlen scheinen mir jedoch der Annahme nicht zu widersprechen.

Die 12. Spalte gibt an, dass die Flugfähigkeit bei dem Sperber, der Waldschnepfe, dem Kibitz und der Lerche [1]) am grössten ist, am geringsten wiederum bei den *Rallidae*, dem Haubentaucher, der Eiderente und den Fledermäusen. Jedoch scheint sie im Allgemeinen zu kleine Werthe anzuzeigen für diejenigen Vögel, welche sich durch besonders spitze Flügel auszeichnen, wie die Falken und die Schwalben, und wahrscheinlich auch zu grosse Zahlen für diejenigen mit stumpfen Flügeln. Eine Correction dieser Werthe

---

1) Die aus den Zahlen Hartings' berechneten Werthe sind in Parenthese gestellt, als mit den von uns gefundenen nicht völlig vergleichbar, weil er aus irgend welchem Grunde fast durchgehend das Gewicht der Brustmuskeln geringer als wir angegeben hat.

mit Rücksicht auf die Form der Flügel sollte und konnte wohl auch gemacht werden. Ich habe nämlich schon angedeutet, dass die Länge des Flügels einen gewissen Einfluss auf dessen Leistungsfähigkeit ausüben muss. Wir sollten also diese Grösse aus der Spalte 5 der Tabelle in die Berechnung eintragen. Es kann aber auch nicht gleichgültig sein, ob der Flügel sich gegen die Spitze stark verjüngt oder aber eine gewisse Breite durchgängig beibehalte. ob er triangulär ist mit breiter Basis, wie bei dem Wasserhuhn oder fast rhombisch wie bei dem Kibitz.

Um ein Maass für die Vertheilung der Flügelarea nach der Längenausdehnung des Flügels zu erhalten, habe ich den Schwerpunkt der Flügelfläche bestimmt, was sich leicht mit Hilfe der nach der Form des Flügels geschnittenen Pappscheiben bewerkstelligen lässt. Die Entfernung des Schwerpunkts von der Basallinie des Flügels ist in der Tabelle auf Spalte 6 eingeschrieben. Die 7. Spalte gibt das Verhältniss der Flügellänge zu dieser Entfernung an und kann also als ein numerischer Ausdruck für die Vertheilung der Flügelflächen gelten. Hier finden sich eine Anzahl nöthiger Zahlen für die Ausführung der Correctionen. Andere werden aber vermisst, welche sich schwerlich bestimmen lassen. Wie sollte man die schon gefundenen Zahlen anwenden, um diese Correction zu bewerkstelligen? Gerade deshalb habe ich es vorgezogen, keine Correction dieser primitiven Werthe vorzunehmen, sie in bescheidener Weise für das was sie sind gelten lassend, als hypothetische Annäherungswerthe, deren Zuverlässigkeit von künftigen Untersuchungen geprüft werden soll.

Ehe ich schliesse, will ich noch einmal zu unserem Hauptproblem zurückkommen, die Arbeit zu bestimmen, welche der Flug den Vögeln auferlegt. In der That sind wir durch diese Untersuchung der Lösung ein Schrittchen näher gekommen. Wir wissen jetzt, dass wir in dem Gewichte der Flugmuskeln ein Maass für das Leistungsvermögen besitzen, d. h. für das Maximum der Arbeit in der Zeiteinheit, welche der Vogel in längerer Zeit andauernd ausführen kann. Wir können auch aus der Tabelle lernen, dass die grossen Vögel nicht verhältnissmässig mehr Arbeit anwenden als die kleinen, und wir können hinzufügen, dass die Fluggeschwindig-

keit der grösseren Vögel, unter übrigens gleichen Umständen, grösser ist als die der kleineren, weil sie der Einwirkung des Luftwiderstandes gegen die Vorwärtsbewegung eine verhältnissmässig kleinere Oberfläche bieten. Es gibt nunmehr keinen Grund für die Annahme, welche lange genug im Gehirne einiger Physiologen gespukt hat, dass die Muskelkraft bei verschiedenen Thierarten verschieden sein solle, sie ist es wenigstens nicht in dem Grade als Plateau glaubte durch seine Versuche und Beobachtungen nachgewiesen zu haben. Plateau glaubte nämlich, dass kleine Thiere mehrfach kräftigere Muskeln haben, und dies auf Grund von Beobachtungen, wie z. B., dass die Ameise eine Last tragen kann, deren Gewicht mehrfach (23 mal) grösser als das eigene Körpergewicht ist, oder dass ein Floh vielmals höher springen kann als seine eigene Länge ist. Er vergass dabei, dass auch wir verhältnissmässig ebenso grosse Lasten wenige Millimeter in derselben Zeit wie die Ameise transportiren können, wenn wir zweckmässige Hebezeuge anwenden, und dass es für uns im Allgemeinen eine Kleinigkeit ist, so hoch wie ein Floh zu springen, d. h. eine Arbeit auszuführen, welche sich zur Arbeit des Flohes verhält wie unser Körpergewicht zu dem des Flohes. Allein verlangen, dass wir uns so viele Manneshöhen in die Luft aufschwingen sollen, wie er Flohlängen, das heisst von uns eine Arbeit verlangen, welche verhältnissmässig um ebenso viel die Arbeit des Flohes übertrifft, als unsere Körperlänge die seinige.

Wäre aber noch ein Zweifel übrig, so mag ja der Versuch entscheiden. Es gibt vor der Hand nicht wenige Bestimmungen über die specifische Kraft der Muskeln, und zu diesen haben wir die Bestimmungen zu rechnen, welche Marey eben an dem *Musculus pectoralis major* bei ein paar kleinen Vögeln ausgeführt hat. Das Resultat zeigte 1,300 — 1,400^{g} pro Quadratmillimeter des Muskelquerschnittes. Da man nun die specifische Kraft des Froschmuskels gegen 3,000^{g} schätzt und da Henke die Kraft der Armmuskeln des Menschen zu 6 bis 8^{kg} berechnet, so gibt es wenigstens keinen Grund mehr für die Annahme, dass dieselbe bei den Vögeln grösser sein sollte als bei anderen Thieren. Nun ist wohl die Frage nach dem Arbeitsvermögen des Muskels nicht dadurch abgefertigt, dass man die specifische Kraft und das Gewicht desselben bestimmt hat,

sondern es gehört dazu auch die Arbeitsart, also Zahl und Umfang der Contractionen in der Zeiteinheit zu bestimmen. Diese sind bei verschiedenen Vögeln und bei verschiedenen Flugarten sehr verschieden. Natürlich können unsere Muskeln in Bezug auf Schnelligkeit der Zusammenziehung einen Vergleich mit den Flügelmuskeln der Insecten nicht aushalten. Bei einer grossen Menge unserer grössten und am kräftigsten fliegenden Vögel übersteigt aber der Rhythmus offenbar nicht dasjenige, was unsere Muskeln in dieser Hinsicht leisten können. Ebensowenig scheint der Umfang der Contractionen sich im Wesentlichen von dem zu unterscheiden, was für die Arbeit unserer Muskeln am gewöhnlichsten und am vortheilhaftesten angesehen wird.

Es scheint darum nicht zu gewagt, anzunehmen, dass das Arbeitsvermögen der Säugethiermuskeln dem der Vogelmuskeln völlig gleichkommt. Wenn darum, wie man annimmt, ein Mensch eine Arbeit von höchstens $1/2$ kgm in der Secunde pro Kilo der arbeitenden Muskelmasse bieten kann, so dürfte ein Vogel von dem Gewichte eines Kilogramms und mit einer Flugmuskulatur von 15 % des Gewichts, also $1/6$ kg, für den Flug höchstens $1/12$ kgm in der Secunde anwenden können. Ein Vogel mit 10 % Flugmuskeln würde höchstens eine Arbeit von $1/20$ kg in der Secunde per Kilo des Körpergewichts leisten können. Dieses Maximum gilt aber für kurzdauernde Kraftanstrengungen nicht. Denn wir wissen ja, dass wir, wenn es erforderlich ist, in staunenswerthem Grade das Leistungsvermögen unserer Muskeln, obwohl nur für kürzere Zeit, erhöhen können. Und dasselbe werden wohl auch die Vögel vermögen. Der obige Werth stellt also den Maximalwerth vor, welchen der Vogel ohne Ueberanstrengung der Flugmuskeln mehrere Stunden hindurch anhaltend auf den Flug verwenden kann. Noch interessanter wäre es wohl, die geringste Arbeit kennen zu lernen, welche die Vögel für den Flug genöthigt sind, anzuwenden. Ich muss aber mein Unvermögen gestehen, eine befriedigende Antwort auf diese Frage zu geben. Bei einigen Vögeln, welche stets mit derselben Geschwindigkeit und in beinahe horizontaler Richtung fliegen, dürfte wohl der gesuchte Werth mit dem Maximalwerthe zusammenfallen. Bei anderen dagegen, welche einmal fliegen mit gewaltigen Flügelschlägen in rascher

Fahrt, und manchmal sogar sich schnell beinahe senkrecht in die Höhe schwingen, um ein anderes Mal ohne sichtbare Bewegung ihrer Flügel von Stunde zu Stunde vorwärts zu schweben, dürfte wohl dieser Minimalwerth bedeutend von dem Maximalwerthe abweichen. Er dürfte sich zu dem Maximalwerth etwa in derselben Weise verhalten, wie die Arbeit, welche wir bei einem mässigen Spaziergange verwenden zu der Arbeit, welche bei einem forcirten Laufmarsche zu entwickeln nöthig ist.

Möglicherweise kann man von einer synthetischen Vorgangsweise die Lösung dieses Problems erwarten. Alle bis heute gemachten Versuche, den Flug der Vögel durch Maschinen nachzuahmen, sind aber doch gar zu unvollkommen, um allgemein gültige Schlüsse zu erlauben. Unbestreitbar ist Tatin derjenige, dem es auf diesem Gebiete am besten gelungen ist. Auf Grund seiner Versuche gibt er die nöthige Arbeit einer nach dem Typus des Adlers gebauten Maschine zu $^{1}/_{4}$ ^{kgm} in der Secunde per Kilo des Gewichts an [1]. Ein anderer Flugapparat erfordert 1,5 ^{kgm} in der Secunde per Kilo des Gewichts. Diese Maschinen stehen also als Flugapparate betrachtet dem am schlechtesten ausgestatteten der von mir untersuchten Vögel weit nach; denn dieser Vogel braucht nicht mehr als $^{1}/_{6}$ ^{kgm} in der Secunde per Kilo seines Gewichts anzuwenden, und ist auch noch zu anderen Zwecken gebaut als zum Fliegen.

---

1) a. a. O.

Observator, Name u. s. w.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		w	z	Σ	y	l	h	$\frac{l}{b}$	$\frac{w}{v}$	$\frac{100v}{w}$	$\frac{\sqrt{y}}{\sqrt[3]{w}}$	$\frac{\Sigma}{w}$	F
		Total-gewicht	Flug-muskel-gewicht	Total-area	Flug-area	Länge des Flügels							
K. & B.	Aquila albicilla ♀	5312	945	8025	6638	106	45	2,36	5,61	17,78	4,67	1,51	83,02
Marey	Vultur	1664			3131						4,722		
„	Vultur cinereus	1535			3233						4,929		
„	Falco tinnunculus	128,9			642						5,015		
K. & B.	id. ♂ ad.	181	25	937	756	31	13,5	2,3	7,24	13,81	4,86	4,18	67
„	id. ♀	268	37	966	680	33	14	2,36	7,2	13,9	4,04	3,4	56
Marey	Falco tinnunculus minor	147,4			546						4,424		
„	„ Kobek	282,4			970						4,747		
„	„ sublatio?	509,6			1684						5,138		
„	„ palustris	208,8			1188						*5,810*		
„	„ milvus	620,1			1904						5,117		
K. & B.	„ subbuteo	175	37	600	438	30	12	2,5	4,7	21,1	3,74	3,43	79
Marey	Buteo vulgaris	785			1651						4,405		
K. & B.	id. ♂	680		2671	2200	58	24	2,42			5,33	3,93	
„	„ lagopus ♂	854	134	2986	2400	59	25,5	2,31	6,4	15,6	5,16	3,5	80
„	Astur palmubarius ♀	1257	225	2829	2228	53	24	2,21	5,6	18	4,38	2,25	79
„	„ Nisus ♂	149	38	713	582	30	12,5	2,4	3,9	25,6	4,55	4,79	116
„	„ id. ♀	248	58	1031	800	34	14	2,43	4,3	23,3	4,5	4,16	105
„	„ id. ♂	155	30	769	562	27	12	2,25	3,17	19,36	4,41	4,96	85
„	„ id. ♀	263	54	900	675	29	12	2,42	4,87	20,53	4,05	3,42	83

K. & B.	Pernis apivorus ♀ ad.	678	78	3075	2400	57	25	2,28	8,7	11,15	*5,58*	4,54	62
„	id. ad.	757	136	2869	2362	54	24	2,25	5,57	18	5,38	3,79	96
Marey	Strix passerina	122,8			394						3,998		
„	„ id.	128,9			442						4,162		
K. & B.	„ Tengmalmi	104	10	581	469	23	10	2,3	10,4	9,61	4,61	5,9	44
„	„ nyctea ♀	2279	302	4357	3428	71	29	2,45	7,5	13,2	4,45	1,91	59
„	„ id. ♂	1635	228	3714	3058	68	28	2,43	7,1	14,1	4,69	2,27	66
„	„ Bubo ♂	2000		4643	3400	67	28	2,32			4,63	2,32	
„	„ id. ♀	*2700*	431	5327	4050	72	31	2,32	6,3	16	4,57	1,97	73
„	„ brachyotus ♀	455	66	1650	1350	46	19	2,42	6,9	14,5	4,78	3,6	69
„	„ id. ♂	287	47	1365	1120	44	18	2,44	6,1	16,4	5,05	4,75	83
„	„ otus ♀	280	41	1331	1050	38	16	2,46	7	14,3	4,95	4,75	71
„	„ id ♂	220	30	1275	1012	40	16	2,5	7,3	13,7	5,27	5,8	67
„	„ id. ♂	213	28	1088	882	37	15	2,47	7,6	13,2	4,97	5,11	66
„	Podiceps cristatus ♂ ad.	1222	114	1256	1012	44	18	2,55	*10,72*	*9,33*	2,975	1,03	28
„	Lestris parasitica	430	87	1275	976	46	18,5	2,48	4,94	20,2	4,14	2,97	84
Hartings	Larus argentatus	565	93		1082	48			6,08	16,46	3,99		(69)
„	„ ridibundus	195	26,13		662	41,5			7,53	13,4	4,43		(59)
K. & B.	Sterna Hirundo	118	23	411	375	30	12	2,5	5,13	19,5	3,95	3,48	77
„	id.	120	23,2	413	388	32	12,5	2,56	5,2	19,3	3,99	3,44	77
„	Fuligula glacialis ♀	744		750	524	29	12	2,42			*2,5*	1,01	
„	id. ♂	790	166	919	600	33	13	2,54	4,8	20,8	2,6	1,16	54
„	Fuligula mollissima ♂	2164	348	1687	1088	44	17,5	2,51	6,2	16	*2,5*	*0,78*	40
„	„ ferina	892	173	844	562	81	12	2,58	5,2	19,4	*2,5*	0,95	49
„	Anas crecca	386	91	562	400	26	10	2,6	4,2	23,6	2,7	1,46	64
Hartings	id. ♂	275,5	63,85		288	24,8			4,31	23,18	2,6		(60)

Observator, Name u. s. w.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		w	z	Σ	y	l	h	$\frac{l}{h}$	$\frac{w}{v}$	$\frac{100\,v}{w}$	$\frac{\sqrt{y}}{\sqrt[3]{u}}$	$\frac{\Sigma}{w}$	F
		Total-gewicht	Flug-muskel-gewicht	Total-area	Flug-area	Länge des Flügels							
Hartings	Anas nyroca	508	76,58		642	35			6,63	13,11	3,2		(42)
K. & B.	Anser Segetum	4782		4486	3372	74	29	2,55			3,4	0,94	
"	id.	3529	850	3075	2270	64	26	2,46	3,9	25,5	3,1	0,87	79
Hartings	Fulica atra	495	51,8		524	26,5			9,56	10,46	2,9		(30)
K. & B.	id. ♂	805	110	986	658	27	9,5	2,84	7,3	13,7	2,8	1,22	38
"	id. ♀	669	86	929	542	27	9	3	7,8	12,8	2,7	1,4	35
"	Gallinula crex ♂	138	20,6	390	274	19,5	8	2,44	6,7	14,92	3,11	2,83	46
"	" Porzana	106	15	300	188	16	7	2,29	7,07	14,15	2,9	2,83	41
Hartings	Rallus aquaticus ♂	170,5	19,05		202	16,5			8,95	11,17	2,56		(29)
K. & B.	Grus cinerea ♀	4590		6544	5176	91	36	2,53			4,3	1,43	
"	id. ♂	*5151*	*902*	*6938*	*5512*	*97*	*43*	2,26	5,7	17,5	4,3	1,35	75
"	id. ♀	4300	740	6150	4724	87	36	2,42	5,8	17,2	4,2	1,43	72
Marey	Glareola	95,17			342						4,056		
K. & B.	Caradrius minor	60	14	216	160	17	7	2,43	4,3	23,3	3,23	3,6	75
"	Numenius arcuatus ♂ ad.	588	144	1256	1012	44	18	2,44	4,08	24,5	3,8	2,14	93
"	Machetes pugnax ♀ ad.	103	26	375	270	22	8,5	2,59	4	25,24	3,51	3,64	89
"	id. ♀	103	27	347	270	22	9	2,44	3,81	26,21	3,51	3,66	92
Hartings	id. ♂	190	48,37		328	26,2			3,93	24,46	3,15		([illegible]9)
K. & B.	Phalaropus angustirostris ♂	41	9	140	101	13	5	2,6	4,55	21,95	2,91	3,41	64
"	Numenius phoeopus ♀ ad	354	90	881	600	34	14	2,43	3,93	25,42	3,46	2,5	88

K. & B.	Strepsilas collaris	92	25	275	212	20	8	2,5	3,68	27,2	3,22	3	88
„	Scolopax mojor ♀ ad.	176	50	375	282	21	9	2,33	3,52	28,88	8	2,13	850
„	id.	201	58	375	262	20	8	2,5	3,47	28,89	2,76	1,86	80
„	Scolopax galinago ad.	95	26	319	244	19	8	2,38	3,65	27,27	3,42	3,36	93
„	id.	107	32	300	225	17,5	7	2,5	*3,34*	*30*	3,16	2,8	95
„	Scolopax rusticola ♂	285	85	638	506	25	10	2,5	3,4	*30*	3,4	2,24	102
„	id. ♂	288		647	524	27	11,5	2,35			3,47	2,25	
„	Hematopus ostralegus	426	86	881	675	37	14,5	2,55	5	20,2	3,45	2,07	70
„	Vanellus cristatus	194	46	806	676	31	14	2,21	4,2	24	4,5	4,16	108
„	id.	190	47	881	712	31,5	14,5	*2,17*	4,04	24,74	4,64	4,64	115
Marey	Vanellus spinosus	159,6			636						4,649		
„	Perdix cinerea	280			320						2,734		
K. & B.	id. ♀ ad.	331	98	551	360	20	8,5	2,35	3,37	29,61	2,74	1,7	81
„	Lagopus subalpina	510		740	480	25	10	2,5			2,74		
Marey	Columba vinacea	112			292						3,545		
K. & K.	„ domestica	328	78	850	628	30	12,5	2,4	4,2	24	3,63	2,6	86
„	„ oenas	318	81	694	526	29	12	2,42	3,9	25,5	3,36	2,18	86
Marey	Alcedo ispida	82,84			270						3,769		
„	„ afra?	85,96			288						3,845		
K. & B.	Caprimulgus europeus ♂	70	13	544	412	26	11	2,36	5,39	18,6	4,92	7,77	92
„	Cypselus apus ♀ ad.	36	8	184	135	18	7,5	2,4	4,5	22,22	3,52	5,11	78
„	id.	36		169	126	16	6	2,67			3,4	4,7	
„	id.	40	8,5	185	130	16	6,5	2,46	4,7	21,1	3,33	4,63	70
„	Picus tridactyles	59	14	314	228	16	6,5	2,46	4,2	24	3,88	5,32	93
„	„ major	86	20	380	308	19	8	2,38	4,3	23,3	3,98	4,42	93
„	Cuculus canorus ♀	123	25	600	450	28,5	11,5	2,44	4,92	20,33	4,27	4,88	78

Observator	Name u. s. w.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		w	z	Σ	y	l	h	$\frac{l}{h}$	$\frac{w}{v}$	$\frac{100\,v}{w}$	$\frac{\sqrt{y}}{\sqrt[3]{w}}$	$\frac{\Sigma}{w}$	F
		Totalgewicht	Flugmuskelgewicht	Totalarea	Länge des Flügels								
Hartings	Alauda arvensis	32,2	5,1		150	15,8			6,27	15,84	3,81		(60)
K. & B.	id.	39,5		229	200	16	6,5	2,46			4,15	5,8	
„	id.	40	10,5	244	187	14,5	6	2,42	3,81	26,25	4	6,1	105
Marey	Alauda cristata	36,8			202						4,273		
„	Corvus pica	212			540						3,906		
„	id.	275			690						4,039		
„	Corvus cornix	374,5			1156						4,717		
K. & B.	id.	498		1714	1428	42	18	2,33			4,77	3,84	
„	Corvus monedula	260	48	880	728	32	13,5	2,37	5,4	18,5	4,23	3,38	78
Hartings	Bombicilla garrula	60	11		88	16			5,46	18,33	2,39		(44)
„	Sturvnus vulgaris ♂	86,4	16,45		170	16,7			4,55	19,04	2,96		(56)
Marey	id.	78			202						3,326		
K. & B.	id. ad.	75	17	238	175	16	6,5	2,46	4,4	22,7	3,14	3,17	71
Hartings	Fringilla spinus	10,1			50	9,5					3,29		
K. & B.	„ montana	22,5	5,5	116	82	9	4	2,25	4,1	24,4	3,21	5,2	78
„	id.	31	6,5	131	100	10	4	2,5	4,77	21	3,18	4,23	67
„	„ carduelis	18,5		120	94	10,5	4,5	2,33			3,67	6,48	
„	Pyrrhula vulgaris	33		186	143	12,5	5,5	2,27			3,73	5,64	
„	Motacilla alba	22	6	144	94	12	4,5	2,67	3,7	27	3,46	6,55	93

Marey	Hirundo urbica	18			120						4,18		
K. & B.	„ rustica ad.	16,4		112	86	12	4,5	2,67			3,65	7	
„	„ urbica ad.	19	3,6	116	84	12,5	4,5	2,78	5,28	19	3,43	6,1	65
Hartings	Parus major	14,5	*2,1*		*62*	10,5			6,9	14,5	3,24		(47)
„	„ caerulens	*9,1*			48	*9*					3,31		
Marey	Upupa epops	49,12			329						4,952		
„	Merops apiaster	18,3			117						4,105		
K. & B.	Sylvia hortensis ♂	13,75	3,2	*109*	88	10	4	2,5	4,3	23,3	3,92	7,93	91
Hartings	Turdus pilaris ♂	103,4	23,3		202	17,2			4,44	22,53	2,56		(58)
„	„ merula ♂	88,8	19,05		212	16			4,55	21,45	3,27		(70)
Marey	id.	94			230						3,335		
„	Saxicola oenanthe	56,05			125						2,922		
Hartings	Plecotus auritus	10,4	0,76		70	12,5			13,8	7,31	3,83		(28)
„	Vespertilio pipistrellus	*5,6*	*0,35*		*50*	10,5			*15,5*	6,23	3,98		(25)
K. & B.	„ Daubentonii ♀ ad.	11,2	1,2	109	86	11	4,5	2,44	9,33	10,71	4,14	9,73	44
„	„ borealis ♀	*7,6*	0,8	101	75	11,5	5	2,8	9,5	10,53	4,41	*13,3*	46
de Lucy	Mücke	0,003			0,3						3,8	(100)	
„	Schmetterling	0,2			16,63						6,97	(83,2)	
„	Taube	290			750						4,14	(2,6)	
„	Storch	2265			4506						5,11	(1,99)	
„	Kranich aus Australien	9500			8543						4,37	(0,9)	

Zur Beleuchtung der Frage, ob Wärme bei der Muskelcontraction sich in mechanische Arbeit umsetze.

Von

Dr. Magnus Blix.

I.

Was ereignet sich im Muskel bei dessen Contraction? Ohne Pessimist zu sein, kann man doch voraussagen, dass eine endgültige Antwort auf diese Frage noch lange auf sich warten lassen werde. Mehr oder weniger gelungene Errathungen füllen bis heute die vielen Lücken aus, welche die experimentelle Forschung gelassen hat. Dass dem so ist, das beruht doch allerdings nicht auf mangelndem Interesse von Seiten der Forscher. Im Gegentheil, diese Frage ist eine der allerwichtigsten der Biologie und ist auch von allen Seiten und mit dem grössten Eifer studirt worden, sowohl von den hervorragendsten Forschern, als von den Jüngern der physiologischen Wissenschaft. Die Ursache ist in den vielen und grossen Schwierigkeiten auf dem Gebiete der Experimentaltechnik zu suchen.

Um eine klare Einsicht von dem zu erhalten, was in einem Motor von denen, die wir täglich im Dienste der Industrie arbeiten sehen, vorgeht, ist es nicht genug, alle Theile desselben zu untersuchen und nachzusehen, wie die Bewegung des einen auf den andern übergeführt wird, wie ein Zahn in den anderen eingreift; wir müssen noch die Ursache der Bewegung kennen, sowie die Treibkraft, die sie hervorruft und erhält. Einmal ist es die lebende Kraft des Windes oder des Wassers; ein anderes Mal die Schwerkraft oder die Elasticität eines Gases, eines Dampfes oder einer gespannten Feder; wieder ein anderes Mal sind es entbundene

chemische Spannkräfte, welche unsichtbare Bewegungen hervorrufen, die wir Wärme und Elektricität nennen, und die in ihrer Ordnung in die sichtbare Bewegung der verschiedenen Theile der Maschine übergehen u. s. w. Mit einem Worte, wir können uns jetzt im Allgemeinen klar legen, wie unsere Maschinen arbeiten.

Aber das Verhältniss ist ein anderes, wenn es sich um die Maschinen handelt, die unsere Glieder in Bewegung setzen, um die Muskeln. Freilich können wir sehen, wie der Muskel seine Form ändert, und mittels des Mikroskops können wir sogar eine, wenn auch oberflächliche Vorstellung davon gewinnen, wie die verschiedenen Theile des Muskels ihre Lage bei der Contraction verändern. Und doch begegnen uns schon hierbei Schwierigkeiten, die man kaum noch als besiegt ansehen kann. Handelt es sich dagegen um die übrigen physikalischen und chemischen Processe, die die Contraction des Muskels begleiten, und um ihre Ursache, so muss eingestanden werden, dass die Kenntnisse, welche wir heutzutage besitzen, nicht einmal dazu hinreichen, eine gewisse Hypothese vor den andern hinlänglich zu stützen, geschweige denn einen klaren und richtigen Einblick in das Wesen der Contraction zu verleihen.

In einem Punkte stimmen jedoch die Physiologen unserer Zeit ziemlich gut überein, darin nämlich, dass es keine für den Muskel oder für den Organismus überhaupt specifische Kraft gibt, keine sog. Lebenskraft, der man die Bewegungen des Muskels zuschreiben dürfte. Noch mehr, man hat wahrscheinlich gemacht, dass es, wie in der Dampf- oder Gasmaschine, entbundene chemische Spannkräfte sind, die die Zusammenziehung des Muskels in irgend einer Weise verursachen. Wie diese chemischen Kräfte Formwechselungen in dem Muskel hervorrufen können, bedarf noch der Untersuchung.

Von den Hypothesen, die man aufgestellt, um dieses Räthsel zu erklären, wollen wir die Weber'sche und die Mayer'sche als die wichtigsten nennen, da diese den Ausgangspunkt für eine Menge interessanter und beleuchtender Experimente bilden.

Eduard Weber[1]) nahm an, dass die Spannkräfte, die bei der Reizung des Muskels entbunden werden (er glaubte, als er diese

1) R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd. 3, 2 S. 1 ff.

Hypothese darstellte, an eine specifische Lebenskraft), nur die Aufgabe hätten, die Muskeln aus dem ruhenden in den arbeitenden Zustand überzuführen. Dieser wird dadurch charakterisirt, dass die Form des Muskels verändert wird, indem er kürzer und dicker wird, dass aber der Muskel im Uebrigen ziemlich die Eigenschaften des ruhenden Muskels hat, besonders die der Elasticität, wenn auch ein wenig geschwächt. Die Elasticität des arbeitenden Muskels war es, welche die Kürzung unter dem Einfluss der Reizung bewirkte, sogar wenn er belastet war, oder mit anderen Worten, welche die Arbeit des Muskels erzeugte. Wenn dies sich beweisen liesse, wäre nichts weiter zu erklären als die Art, auf welche der Muskel aus dem ruhenden in den arbeitenden Zustand versetzt wird; somit wäre das Problem der animalen Bewegung gelöst.

Julius Robert Mayer[1]) stellte die Hypothese auf, dass der Verlauf bei der Zusammenziehung des Muskels dem Processe analog wäre, der sich in der Dampfmaschine ereignet, und der darin besteht, dass die chemischen Processe, welche durch die Reizung eingeleitet worden, in erster Hand Wärme hervorriefen, wovon je nach verschiedenen äusseren Verhältnissen ein grösserer oder geringerer Theil latent würde oder in einer übrigens nicht genauer angegebenen Weise in mechanische Arbeit, d. h. Muskelcontraction, umgesetzt würde.

Für diese Hypothese sprach kräftig das zuerst von Becquerel, und Brechet[2]), später von Helmholtz[3]) u. A. constatirte Factum, dass der Muskel bei der Contraction Wärme erzeugt.

Damals stellten sich während längerer Zeit die Physiologen vor, dass jede Reizung des Muskels einen der Intensität der Reizung an Intensität entsprechenden Stoffumsatz erzeugte — Verbrennung oder, gemäss neueren Ansichten, Spaltung — und dass die dabei erzeugte Wärmemenge in statu nascenti oder aber früher oder später in grösserem oder geringerem Theile in mechanische Arbeit um-

1) J. R. Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845.

2) Becquerel et Brechet, Sur la chaleur animale. Annales des sciences naturelles. Zoologie, 2. série t. 3 1835 p. 257 sq.

3) Müller's Archiv 1848 S. 144 ff.

gesetzt wurde, je nach den äusseren Verhältnissen, in welchen der Muskel sich befand. Mehrere Versuche wurden auch gemacht, dieser Vorstellung eine experimentelle Grundlage zu geben, wie z. B. diejenigen von Béclard, Hirn, Meyerstein, Thiry, Heidenhain. Die später von A. Fick, Steiner, Nawalichin und Danilewsky gemachten Experimente mögen auch in diesem Zusammenhange genannt werden, da sie wichtige Erklärungen von den Wärmeverhältnissen bei der Muskelcontraction liefern.

Béclard[1]) machte seine Versuche mit dem *musculus biceps* seines rechten Armes. Er befestigte an die Haut des Armes über diesem Muskel ein Quecksilberthermometer, das die Temperaturvariationen des darunter liegenden Muskels angeben sollte. Wenn er nun den *biceps* mechanische Arbeit ausführen liess dadurch, dass er wiederholte Male ein Gewicht erhob, das er wieder jedesmal mit dem linken Arm senkte, so fand er, dass das Thermometer weniger erwärmt wurde als wenn er seinen *biceps* ebenso lange und gleich viel mit derselben Spannung contrahirte, ohne eine mechanische Arbeit auszuführen, sei es, dass er ihn mit gehobener Belastung zu einer gewissen Mittelhöhe aufgehoben und fest contrahirt hielt, sei es, dass er die Last mitunter erhob, mitunter ein Bischen über oder unter diese Mittelhöhe senkte. Damit meinte er erwiesen zu haben, dass der Muskel seine Arbeit auf Kosten der Wärmeerzeugung ausgeführt habe. Diese Methode war jedoch, wie man leicht einsieht, wenig zuverlässig. Die Fehlerquellen waren zu viel und zu gross, als dass die Ergebnisse als beweisend angesehen werden dürften.

Einen andern Weg betrat der berühmte Physiker und Experimentator Hirn[2]). Wie er gewöhnt war, seine Experimente nach grossem Maassstabe auszuführen, so begnügte er sich nicht damit, den einen oder anderen Muskel für seine Versuche anzuwenden, sondern er stellte sie mit einem ganzen Menschen an. Sein Raisonnement war das folgende: All die Wärme, welche der Organismus erzeugt, muss durch Verbrennung oder Sauerstoffverbrauch entstehen. Je mehr

1) Archives générales de médecine 1861 Janv., Fevr. et Mars.

2) Théorie mécanique de la chaleur, 1. partie 3. éd. 1878 p. 27 sq.

Sauerstoff von dem Organismus in Anspruch genommen wird, desto mehr Kohlen- und Wasserstoff[1]) werden verbrannt, desto mehr lebendige Kraft wird erzeugt. Wahrscheinlich gibt es ein constantes Verhältniss zwischen der von dem Organismus absorbirten Sauerstoffmenge und der dadurch erzeugten Wärme, wenn der Körper in Ruhe ist, und der ganze Sauerstoffverbrauch zu Wärmebildung angewandt wird.

Zuerst musste er auf experimentellem Wege dieses Verhältniss bestimmen. Dabei setzte er die Person, mit welcher er den Versuch ausführte, in eine Art Kalorimeter, das aus einem kleinen, dicht geschlossenen, in die Mitte eines grösseren Zimmers gestellten Zimmer bestand, so dass man seine Temperatur für constant während der Versuchszeit ansehen konnte. Die Temperatur im Kalorimeter erhöhte sich dabei im Anfang zufolge der Wärmeerzeugung der eingeschlossenen Person, wurde aber nach einiger Zeit constant, was geschah, wenn das Kalorimeter ebenso viel Wärme an das umgebende Zimmer verlor, wie demselben Wärme von der eingeschlossenen Person zugeführt wurde. Aus der Differenz zwischen den Temperaturen innerhalb und ausserhalb des Kalorimeters konnte er, auf gemachte Vorversuche gestützt, die von der eingeschlossenen Person in der Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge berechnen. Dann galt es nur, die Menge des gleichzeitig aufgenommenen Sauerstoffes zu messen, was er durch quantitative Analyse der in- und exspirirten Luft that.

Die mühsamen Experimente zeigten, dass das Verhältniss zwischen der Wärmeerzeugung und dem Sauerstoffverbrauch nicht constant war, jedoch zwischen so engen Grenzen variirte, dass er sich berechtigt hielt, seinen weiteren Berechnungen einen Mittelwerth zu Grunde zu legen, der dieses Verhältniss ausdrückte. Demgemäss sollten für jedes Gramm assimilirten Sauerstoffs 5,22 Kalorien Wärme erzeugt werden, wenn nämlich die fragliche Person sich in Ruhe befand. Wenn er sie aber mittels eines im Kalorimeter befindlichen Tretrades, das auch von einem ausserhalb des Kalorimeters angebrachten

---

1) Hirn wusste sehr gut, dass der Sauerstoff in dem Organismus Verbindungen eingeht, wobei er weniger Verbrennungswärme liefert, als wenn Kohle und Wasserstoff zu Kohlensäure und Wasser verbrannt werden. Darum nahm er auch seine Zuflucht zu Experimenten.

Motor in Bewegung gesetzt werden konnte, positive oder negative mechanische Arbeit ausführen, das heisst in diesem Falle in dem Rad aufwärts oder abwärts marschiren liess, so änderte sich das Verhältniss zwischen dem verbrauchten Sauerstoff und der erzeugten Wärme. Beide wuchsen, der Sauerstoffverbrauch aber relativ mehr, wenn die Person positive mechanische Arbeit ausführte, dagegen die Wärmeerzeugung mehr, wenn sie negative mechanische Arbeit ausführte. In einigen Versuchen zeigte es sich, dass das Verhältniss fast unverändert blieb, wenn er zu der erzeugten Wärme das Wärmeäquivalent der verrichteten Arbeit hinzufügte, bezw. davon abzog, wenn die Arbeit negativ war. Aber diese höchst beachtenswerthen Experimente besitzen indes nur wenig Beweiskraft; die Verhältnisse sind, wie wir wissen, weit verwickelter als sich Hirn vorgestellt hatte. Wir können uns jedoch hier um so mehr eine Kritik ersparen, als die Literatur eine solche schon besitzt und zwar von C. Voit's Hand [1]).

Wenig Interesse bieten die schlechter geplanten Versuche von Meyerstein und Thiry [2]), die wir hier übergehen, um bei Heidenhains [3]) epochemachender Arbeit etwas länger zu verweilen.

Als das Ziel seiner Untersuchungen hatte er die Lösung der Frage aufgestellt, welche von den genannten Hypothesen die richtige sei, die von Weber oder die von Mayer, oder ob überhaupt eine derselben zutreffend sei. Er ging dabei von der damals allgemein verbreiteten Vorstellung aus, dass, wenn ein Muskel immer gleich stark gereizt wird und seine Functionsfähigkeit unverändert bleibt, jede Reizung einen ebenso grossen Stoffumsatz hervorrufen muss, die äusseren Verhältnisse mögen im Uebrigen sich gestalten wie sie wollen. Schon E. Weber hatte die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, dass der Muskel für gleiche Reizungen mehr mechanische Arbeit producirt, je stärker er belastet wird, aber nur bis zu einer gewissen Grenze. Wenn die Spannung über diese Grenze gesteigert

1) Untersuchungen über den Einfluss des Kochsalzes u. s. w. auf den Stoffwechsel, S. 106 ff. München 1860.

2) Zeitschr. f. rat. Medicin von Henle-Pfeufer Bd. 20 S. 45.

3) Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864.

wird, nimmt die mechanische Arbeit ab. Also, meinte Heidenhain, könne ein gewisser auf der Intensität der Reizung beruhender Stoffumsatz bei dem Muskel eine grössere oder geringere Menge Arbeit erzeugen, je nachdem seine Spannung geschwächt oder vermehrt wird. Ist der Satz Mayer's richtig, so muss der Muskel unter diesen Verhältnissen weniger Wärme erzeugen, wenn er mehr Arbeit verrichtet, und umgekehrt. Ist hinwieder die Annahme Weber's richtig, so musste die erzeugte Wärmemenge immer für dieselbe Reizungsstärke und Functionsfähigkeit im Muskel gleich gross sein, wie gross oder gering die Belastung des Muskels auch sei. Die chemische Arbeit im Muskel hätte ja immer dieselbe unveränderliche Aufgabe, den Muskel in seine arbeitende Form zu bringen. Die Contraction selbst wäre ein Act der Elasticität des Muskels und könnte als solcher keine Wärme erzeugen, weil der Muskel bei der Dehnung seine Temperatur nicht verändert.

Dass dieses Raisonnement von Heidenhain unhaltbar ist, hat Westermann erwiesen [1]). Erstens ist man nicht berechtigt anzunehmen, dass die Arbeit, die nöthig ist, um den Muskel aus der ruhenden in die arbeitende Form zu bringen, dieselbe ist, auch wenn der Muskel ungleiche Spannung besitzt. Die analogen Processe, die man möglicherweise erzeugen könnte, deuten auf ein entgegengesetztes Verhältniss. Man vergleiche z. B. die Aggregatsveränderungen unter verschiedenem Drucke. Weiter gibt es viele Gründe, die dafür sprechen, dass bei der Dehnung des Muskels Wärme wirklich entbunden und bei seiner elastischen Zusammenziehung gebunden wird. Hiervon Weiteres unten.

Wenn nun Heidenhain's Experimente nicht vermochten, wie er selbst früher meinte, die Hypothese Weber's umzustossen, so konnten sie andererseits auch nichts, sei es für sei es gegen die Hypothese Mayer's entscheiden. Es ging nämlich aus Heidenhain's Versuchen, nebst viel anderem von der grössten Bedeutung für die Physik des Muskels, das uns aber nicht augenblicklich interessirt, hervor, dass der Stoffumsatz im Muskel gar nicht von dessen Spannung unberührt bleibt, sondern vielmehr in wesentlichem Grade

1) Ein Beitrag zur Physik des Muskels. Dorpat 1868.

davon abhängig ist. Dieses erwies er theils dadurch, dass er mit einer im höchsten Grade vervollkommneten Methode die relative Temperaturerhöhung des Muskels bei gleich starken Reizungen aber unter verschiedenen äusseren Verhältnissen, nämlich wenn er sich mit kleinen oder grossen Belastungen contrahirte, maass, theils auch dadurch, dass er die unter diesen verschiedenen Umständen erzeugten Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Muskels schätzte, sofern dieselben durch die Reaction des Muskels und die Menge des Alkoholextractes beurtheilt werden konnten.

Diese für die Mechanik des Muskels so äusserst wichtige Entdeckung war insofern unwillkommen für Heidenhain, dass sie das aufgestellte Problem noch mehr verwickelte. Er musste daher darauf verzichten, die Hypothese Mayer's zu stützen oder umzustossen und sich damit begnügen, die Weber'sche wie er glaubte, umgestürzt zu haben, da diese sich ja nicht mit einer ungleichen Wärmeerzeugung bei ungleicher Spannung, sondern nur bei ungleicher Reizungsstärke oder Functionsfähigkeit des Muskels in Einklang bringen liess. Die Frage, ob Wärme in mechanische Arbeit bei der Contraction des Muskels umgesetzt werde, musste er unbeantwortet lassen. Auch hat Niemand, der nach Heidenhain auf diesem Gebiete gearbeitet, uns viel näher der richtigen Antwort auf diese Frage zu bringen vermocht. Ein Theil von diesen Arbeiten wird später bei Gelegenheit genannt werden.

Im Folgenden wollen wir einige von uns gemachte Versuche darstellen, welche möglicherweise zur Beleuchtung der uns beschäftigenden Frage beitragen können. Doch wollen wir zuerst die Aufmerksamkeit auf einen Umstand hinlenken, der, wenn auch nicht die aufgestellte Frage direct berührend, doch für die richtige Auffassung dieser Versuche von Bedeutung ist; ohnedies hat er an und für sich ein hohes Interesse.

II.

Wir haben schon angedeutet, dass es Gründe für die Annahme gibt, dass Wärme bei der Dehnung des Muskels entbunden und bei dessen elastischer Zusammenziehung gebunden werde. Wir wollen hier einige von diesen Gründen anführen.

Dass mehrere Forscher (ebenso wie wir) eine Wärmeerhöhung bei der Dehnung und Wärmeerniedrigung bei der Zusammenziehung des Muskels wahrzunehmen geglaubt, obwohl man ziemlich verschiedene Observationsmethoden angewandt, das kann nicht als ein genügender Beweis für die wirkliche Existenz dieser Phänomene angesehen werden, weil solche Observationen von einer so delicaten Natur sind, dass man kaum je versichert sein kann, dass kein Trug mit im Spiele sei. Die Beweiskraft dieser Beobachtungen muss daher sehr niedrig angeschlagen werden gegenüber der entgegengesetzten Behauptung einer Autorität wie Heidenhain. Er sagt ausdrücklich [1]), dass dergleichen Beobachtungen auf irgend einem Fehler beruhen, welchem er selbst einige Zeit ausgesetzt war, und welchen zu beseitigen ihm endlich gelang. Mit ihm stimmt auch Steiner [2]) auf das entschiedenste überein. Es scheint kaum möglich, die verschiedenen Resultate so zu erklären, dass Heidenhain und Steiner weniger empfindliche temperaturmessende Apparate angewandt hätten.

Da wir also nicht auf experimentellem Wege die Frage entschieden beantworten können, dürfen wir anfangs die Thatsachen anführen, die es uns gelungen ist zusammenzubringen, um die Frage auf indirectem Wege zu beleuchten.

Es gibt andere Stoffe, die in ihrem Bau nicht allzu wesentlich von der Muskelsubstanz abweichen, dass man Grund zu vermuthen hat, sie besitzen in vielen Hinsichten ähnliche physikalische Eigenschaften. Ein solcher Stoff ist sehr feuchtes Holz. J. P. Joule [3]), dessen Ansehen als Experimentator auf dem physiko-mechanischen Gebiete unbestritten ist, hat beobachtet, dass solches Holz bei Ausdehnung erwärmt, bei elastischer Zusammenziehung abgekühlt wird. Joule hat auch ungefähr dieselben Eigenschaften im Kautschuk bemerkt, einer Substanz, die durch ihre übrigen physikalischen Eigenschaften viele Aehnlichkeiten mit dem Muskel aufweist. Wir könnten

---

1) a. O. Anm. S. 54.

2) Pflüger's Archiv 1875 Bd. 11 S. 146.

3) Proceedings for the Royal Society of London 1857 Vol. 8 p. 355. On the thermoelectricity of ferruginous Metals and on the thermal effects of stretching solid Bodies. Daselbst 1858 Vol. 4: On some thermodynamic proprieties of Solids.

auch auf Grund der Verhältnisse zwischen Dehnung und Erwärmung, so wie sie bei diesen und vielen andern soliden oder halbsoliden Körpern beobachtet worden sind, vermuthen, dass der Temperaturwechsel demselben Gesetze in dem einen wie in dem andern Körper folge. Man nimmt auch allgemein ein für alle soliden Körper gemeinsames Gesetz an, das in der mechanischen Wärmetheorie seine Stütze findet, und dem zuerst Thomson einen mathematischen Ausdruck von folgender Gestalt gegeben:

$$dH = -\frac{te}{Jsw}\,dP,$$

wo dH den Temperaturzuwachs, t die Temperatur in Celsiusgraden von dem absoluten Nullpunkte gerechnet, J das mechanische Wärmeäquivalent, e die lineäre Erweiterung für 1° C., s die specifische Wärme, w das Gewicht der Längeneinheit der in einen Cylinder geformten Substanz, und dP die Veränderung der Last bezeichnen. Die Experimente Joule's[1]) und Edlund's[2]) haben die Richtigkeit dieses Gesetzes für eine grosse Menge von Stoffen erhärtet. Man kann jedoch nicht mit Fug fordern, dass es sich ohne weiteres auch auf Muskeln und Holz anwenden lasse. Man muss nämlich den verwickelten Bau und die eigenthümliche Zusammensetzung dieser Stoffe in Betracht ziehen und dazu sich erinnern, dass ihre Ausdehnungscoefficienten unbekannt und vermuthlich variable Grössen sind. Auf dieselbe Weise mag es sich vielleicht auch mit ihrer Wärmecapicität verhalten. Dass aber die Phänomene in der von dem Gesetze angegebenen Richtung gehen werden, muss von theoretischem Gesichtspunkte aus mehr als plausibel erscheinen.

Dass eine Entbindung von Wärme bei der Dehnung des Muskels und eine Bindung von Wärme bei seiner elastischen Zusammenziehung stattfinden, das scheint noch daraus hervorzugehen, dass mehrere Forscher (Schmulewitsch, Samkowy, Boudet de Paris)[3]) übereinstimmend bezeugen, dass der Muskel, wenigstens

1) a. a. O.

2) Poggendorff's Annalen 1861 Bd. 114 S. 1 ff.

3) Schmulewitsch, Ueber das Verhalten des Kautschuks zur Wärme und Belastung. Wiener Jahrb. 1868 Bd. 15 S. 3. Samkowy, Ueber den Einfluss der Temperatur auf den Dehnungszustand quergestreifter und glatter Muskulatur

der quergestreifte, sich bei Erwärmung zusammenzieht und bei Abkühlung verlängert, was auch nach Joule[1]) mit sehr feuchtem Holz und Kautschuk der Fall ist; das letztere ist auch von Schmulewitsch[2]) constatirt worden.

Ist dem nun aber so, dass sich der Muskel zusammenzieht, wenn Wärme ihm zugeführt wird, was muss dann eintreffen, wenn der Muskel gedehnt wird? In der That erfordert das soeben genannte Thomson'sche Gesetz, dass er sich dabei erwärme. Ist nämlich der Ausdehnungscoefficient e eine negative Grösse, so muss der Temperaturzuwachs dH positiv werden, wenn die Last in positiver Richtung verändert wird, d. h. wenn dP eine positive Grösse wird.

Nachdem es sich also gezeigt hat, dass man gegenüber den, wie es scheint, auf bindenden Experimenten fussenden Behauptungen von Heidenhain und Steiner, dass der Muskel bei Dehnung nicht erwärmt und bei elastischer Zusammenziehung nicht abgekühlt wird, theils eine entgegengesetzte durch Beobachtungen gewonnene Auffassung von anderen Gelehrten, theils auch theoretische Gründe anführen kann, wollen wir zu der Beschreibung einiger Versuche übergehen, die wir gemacht haben, um eine sichere Ueberzeugung in dieser Frage zu gewinnen; zugleich werden wir von den von uns vorgenommenen Vorsichtsmaassregeln und den ausgeführten Controlversuchen berichten, die um Irrthümern zu entgehen, nothwendig waren. Die Versuche sind in dem physiologischen Laboratorium zu Würzburg ausgeführt worden, und wir haben dabei den von dem Vorstande dieses Instituts, Herrn Professor A. Fick, construirten thermoelektrischen Wärmemessungsapparat angewandt. Es wird daher zuerst nöthig sein, dem Leser eine Vorstellung von der Construction und Anwendung dieses Apparates zu geben. Um uns nicht zu sehr in die Einzelheiten der Construstion zu vertiefen, verweisen wir die-

---

verschiedener Thierklassen. Pflüger's Archiv 1874 Bd. 4 S. 399. Boudet de Paris, Modifications de l'élasticité musculaire sous l'influence du froid et de la chaleur. Travaux du Laboratoire de M. Marey 1878 — 79 Bd. IV p. 160 sq.

1) a. a. O. und daselbst 1857 Vol. 9 p. 3: On the expansion of wood by Heat

2) a. a. O.

jenigen, die sie genauer kennen lernen wollen, auf die Beschreibung von Fick selbst in Pflüger's Archiv XVI, 64 ff. und auf diejenigen von Danilewsky, ebendaselbst XXI, 115 ff.

Die ganze Methode erzielt eigentlich eine quantitative Bestimmung der von dem Muskel unter verschiedenen Umständen erzeugten Wärmemenge. Diese wird aus der Wärmecapacität und dem Temperaturzuwachse des Muskels berechnet, wobei natürlicherweise die erzeugte Wärme in erster Linie eine Steigerung der eigenen Temperatur des Muskels hervorruft. Das Gewicht des Muskels ist leicht zu finden. Die Wärmecapacität hat sich ungefähr = 0,9 gezeigt und wird als eine Constante betrachtet. Es bleibt nur übrig, den Temperaturzuwachs zu finden. Zu diesem Zwecke wird eine Thermosäule von eigener Construction und ein sehr empfindliches strommessendes Instrument angewandt, wodurch man immer denselben Ausschlag für eine gegebene Stromstärke erhält.

Die Thermosäule erinnert zunächst an diejenige, welche einmal von Helmholtz[1]) angewandt wurde, um die Erwärmung des Muskels, wenn er arbeitete, zu beweisen. Gleichwie die Helmholtzsche, so ist auch diese von Eisen und Neusilber aus geraden Lamellen zusammengesetzt, welche zickzackförmig zusammengelöthet sind, so dass die unpaaren Löthstellen auf der einen Seite, die geraden auf der anderen liegen. Die Löthstellen der Helmholtz'schen Säule waren zugespitzt, um in die Muskelmasse eingesteckt werden zu können. In Fick's Säule sind dagegen die Löthstellen der einen Seite ganz stumpf, diejenigen der anderen nur stark abgeplattet. Uebrigens bestehen die Fick'schen Säulen aus weit mehr Elementen (6 —12) und haben viel kleinere Dimensionen. Die abgeplatteten, fast papierdünnen Löthstellen sind darauf berechnet, nicht in die Muskeln selbst, sondern zwischen die Bäuche von zwei neben einander liegenden Muskeln eingeführt zu werden. Die Muskeln werden somit nicht bei der Einführung der Löthstellen beschädigt, diese aber können leicht die Temperatur der umgebenden Muskeln annehmen, theils weil die Berührungsfläche zwischen den Muskeln

1) Müller's Archiv 1848 S. 144 ff.

und den Metalllamellen so gross ist, theils weil die Metallmasse, die erwärmt werden soll, so äusserst gering ist. Das letztere ist übrigens für die Methode dadurch wichtig, dass, wenn die Metallmasse gross wäre, ein bedeutender Theil der Wärme der Muskeln um dieselbe zu erwärmen absorbirt werden würde, wobei die die Löthstellen zunächst umgebenden Muskellagen abgekühlt werden würden, und die Temperatur der Löthstellen weniger steigen würde als der Erwärmung des Muskels entspricht. Durch die Fortleitung der Wärme von den übrigen Theilen des Muskels würde sich wohl die Temperatur nach und nach ausgleichen, so dass am Ende die Löthstellen dieselbe Temperatur wie die Hauptmasse des Muskels erhielten. Während dieser Zeit aber hat der Muskel bei den meisten Experimenten einen grossen Theil der erzeugten Wärme durch Ausstrahlung und Ableitung sowohl zu den zunächst umgebenden Luftlagen als zur Thermosäule verloren. Also je dünner die zwischen die Muskeln eingeschobenen Löthstellen sind, desto sicherer wird der Temperaturwechsel der Muskeln angegeben und desto geringer werden die Fehler. Natürlich müssen die ausserhalb der Muskeln liegenden Löthstellen in constanter Temperatur gehalten werden, die dazu nicht sehr abweichen darf von derjenigen der Muskeln. Dies bringt man gewöhnlich so zu Wege, dass man sie mit anderen Muskeln desselben Thieres umgibt, von denen man Präparate genommen, oder auch mit feuchtem Filtrirpapier. Wir werden später sehen, dass das eine wie das andere überflüssig ist, wenn Präparat und Säule sich in einer wohl geschlossenen feuchten Kammer befinden. Die Lamellen, die die Säule ausmachen, werden in der Mitte von einem leichten Gipsüberzug zusammengehalten, der die Löthstellen und ungefähr 1 ^{cm} von den Enden frei lässt. Sie sind bis zu den fast linearen Löthstellen durch dazwischen gelegtes Postpapier von einander isolirt worden, und mit isolirendem Firniss überzogen.

Als strommessendes Instrument wird ein Galvanometer mit Spiegelablesung angewandt. Es besteht aus einem Multiplicator mit dickem Draht und einem Paar magnetischer Nadeln mit ziemlich starker Astasie. Ueber dem Nadelsystem ist der Spiegel angebracht und das Ganze hängt vor Zugwinden wohl geschützt, wie

gewöhnlich an einem Coconfaden. Da es keinen besonderen Dämpfer gab, oscillirte das Nadelsystem ziemlich lange, wenn es einmal in Bewegung gesetzt worden war, ehe es in seiner Gleichgewichtslage stehen blieb. Weil es aber bei unseren Experimenten nothwendig war, dass diese Gleichgewichtslage so schnell wie möglich bestimmt wurde, ehe eine Temperaturausgleichung in merkbarem Grade hätte sich entwickeln können, mussten wir sie zu berechnen suchen, wobei die Observation von den Wendepunkten der Oscillationen die erforderlichen Anhaltspunkte lieferte. Diese Berechnung kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden, je nachdem ein grösserer oder kleinerer Grad von Genauigkeit gewünscht wird. Man kann wie es Fick und Danilewsky bei ihren Versuchen gethan haben, die Dämpfung ganz beiseite lassen und die Oscillation als einfache Pendelschwingungen betrachten, und als Gleichgewichtslage den Mittelpunkt zwischen zwei auf einander folgenden Wendepunkten annehmen. Nehmen wir die Wendepunkte p_n und p_{n+1}, so wird die Gleichgewichtslage γ als ihr arithmetisches Mittel berechnet:

$$\gamma = \frac{p_n + p_{n+1}}{2}.$$

Richtiger wäre es, die Gleichgewichtslage dreier auf einander folgender Wendepunkte zu berechnen, in der Weise, dass man zuerst das arithmetische Mittel des ersten p_n und dritten p_{n+2} berechnete und dann das arithmetische Mittel dieser Grösse und des zweiten Wendepunktes p_{n+1}, also

$$\gamma = \left(\frac{p_n + p_{n+2}}{2} + p_{n+1}\right)\frac{1}{2}.$$

Wir haben es jedoch vorgezogen, die Gleichgewichtslage zu berechnen unter Beobachtung des Phänomenes, dass die Magnetnadel keine einfachen Schwingungen ausführt, sondern unter der Einwirkung der Dämpfung oscillirt. Die Berechnungen werden dadurch nicht wesentlich erschwert, sondern vielmehr einfacher, wenigstens für kleine Ausschläge, und dazu gewinnen wir noch eine richtigere Uebersicht von den Wanderungen, die die Gleichgewichtslage gewöhnlich vornimmt schon während der Zeit der ersten Schwingungen — eine Folge theils von der stets sich vollziehenden Temperatur-

ausgleichung, theils von anderen Ursachen. Hierin haben wir ein treffliches Mittel zur Verfügung, um die Versuche zu controliren und uns ziemlich davor zu sichern, dass die Bewegungen der Magnetnadel nicht eine Folge zufälliger Einflüsse sind, sondern im innigsten Zusammenhang mit den augenblicklich vorgenommenen Eingriffen stehen, deren Wirkung den Gegenstand der Untersuchung ausmachen. Die Berechnung wird nach folgender Formel ausgeführt:

$$\gamma = p_{n+1} + \frac{p_n - p_{n+1}}{1 + k},$$

wo p_n und p_{n+1} zwei auf einander folgende Wendepunkte sind und k das Dämpfungsverhältniss, d. h. das Verhältniss zwischen den Amplituden von zwei auf einander folgenden Schwingungen. Anstatt der Bögen der Schwingungen werden die Tangenten eingeführt, was für die kleinen Ausschläge, die hier in Frage kommen, keinen störenden Fehler hervorruft. Das Dämpfungsverhältniss wurde, wenn die Galvanometerleitung durch die von uns angewandte Säule von 10 Elementen geschlossen war = 1,405 gefunden. Dabei belief sich der Leitungswiderstand, der mit der Wheatstone'schen Brücke und einer empfindlichen Bussole gemessen wurde, zu 1,38 Siemens-Einheiten. Zur Berechnung der Gleichgewichtslage ist nur eine Decimalstelle angewandt worden, was jedoch mehr als hinlängliche Genauigkeit ergab. Die Berechnung bestand also darin, dass man die Differenz zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Wendepunkten nahm, diese mit 2,4 theilte und den Quotienten mit dem ihm zukommenden Zeichen zu der Ziffer zulegte, die den letzteren Wendepunkt angab, eine Rechnungsoperation, die so einfach ist, dass sie in den allermeisten Fällen im Kopfe und ohne grossen Zeitverlust ausgeführt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit für die hier beschriebene calorimetrische Methode ist, dass die Empfindlichkeit des Galvanometers unveränderlich ist. Nur so wird es praktisch möglich, die Resultate der verschiedenen Versuche mit einander zu vergleichen und mit bestimmten Ziffern die erzeugten Wärmemengen anzugeben. Würde sich nämlich die Empfindlichkeit des Galvanometers verändern, so würde man, so oft man dasselbe zu einem der hier besprochenen Versuche anwenden wollte, genöthigt sein, eine ziemlich beschwer-

liche und zeitraubende Graduirung des Apparates zu machen, und dennoch würde man nicht sicher sein können, dass sich das Galvanometer während des Laufes der Versuche nicht verändere, wodurch immer eine gewisse Unsicherheit entstehen müsste. Infolge der hoch getriebenen Astasie des in dem Galvanometer angewandten Nadelpaares, ist dasselbe sofern von den Variationen des Erdmagnetismus unbeeinflusst, dass die Empfindlichkeit als hinlänglich constant für das betreffende Bedürfniss angesehen werden kann. Das geht deutlich aus den nach Monaten oder Jahren wiederholten Graduirungen hervor. Bei der von uns mit Hilfe eines Probeelementes von demselben Material, aus welchem die Thermosäule gemacht war, vorgenommenen Graduirung zeigte es sich, dass ein Ausschlag von 1^{mm} auf der Scala einer Temperaturdifferenz von 0,000147°C. entspreche. Auch dieses stimmt mit den früher von Fick[1]) und Danilewsky[2]) gemachten Graduirungen, was um so mehr beachtenswerth ist, als wir vor der Graduirung die Magnetisirung und Astasirung des Nadelpaares noch einmal gemacht hatten, ohne dass wir dabei etwas Anderes zu gewinnen strebten als eine ziemlich unveränderte Schwingungszeit mit Beibehaltung des grössten möglichen Sättigungsgrades des Magnetismus des Nadelpaares. Die Schwingungszeit war ungefähr 9 Secunden.

Das Versuchsmaterial sind verschiedene Muskeln gewesen, theils von *rana esculenta* und *temporaria*, theils von der grossen ungarischen Varietät.

Es sind dabei angewandt worden entweder die beiden *gastrocnemii* oder *semimembranosi* oder *graciles* oder auch die beiden letztgenannten Paare zusammen. Uebrigens sind die Muskeln sowohl in frischem Zustande als Stunden oder Tage nach ihrer Präparirung angewandt worden. Die *semimembranosi* und *graciles* sind nach der Fick'schen Methode[3]) präparirt worden, so nämlich, dass ihre oberen Enden mit dem Becken, die unteren mit einem Stücke des Unterschenkels in Verbindung blieben. Das Becken ist in einer

---

1) Pflüger's Archiv Bd. 16 S. 76.
2) Ebendaselbst Bd. 21 S. 119.
3) a. a. O.

Klemme fixirt worden, und um die unteren Beinbefestigungen ist eine gemeinsame Schlinge von haltbarer Seide oder feinem Metalldraht, an welche dann die Last befestigt wurde, geschlungen worden. Dabei haben sich die Muskelbäuche in der ganzen Länge ihrer inneren Seiten berührt. Die beiden *gastrocnemii* sind in der Weise präparirt worden, dass sie in Zusammenhang mit dem untern Theile des Schenkels blieben, und dann Schlingen sowohl um die oberen als die unteren Sehnen gelegt wurden, so dass die Muskeln mit ihren vorderen planen Oberflächen gegen einander lagen. Sie bilden zusammen eine symmetrische spindelförmige Muskelmasse, ein kräftiges und festes Muskelpräparat. Das Abgleiten der Schlingen wird oben durch die Schenkelenden, unten durch die Schambeine verhindert.

Zur Dehnung der Muskeln werden verschiedene Mittel angewandt', die wir bei der Beschreibung der verschiedenen Versuche angeben. Nur so viel wollen wir hier bemerken, dass sowohl die Belastung als das Entlasten immer allmählich mit genauer Beobachtung davon vorgenommen wurde, dass der Muskel nicht plötzlichen Stössen und Schüttelungen ausgesetzt wurde. Die noch nöthige Beleuchtung wird aus den Versuchsprotokollen, die wir hier anführen, hervorgehen. Wir wählen einige von denen, die wir als die lehrreichsten ansehen.

Versuch vom 8. December 1880.

Das Präparat bestand aus den beiden *musculi graciles* eines ungarischen Frosches. Sie waren seit 3 Uhr 30 Min. des vorhergehenden Abends in dem feuchten Zimmer aufbewahrt worden, da sie anderen Experimenten als Material gedient hatten. Eine Thermosäule mit 6 Elementen war auf gewöhnliche Weise in die beiden Muskeln eingeführt worden, und ihre Poldrähte waren in ein paar Gefässe mit Quecksilber eingesenkt; von diesen Gefässen gingen Leitungsdrähte zu einem Pohl'schen Gyrotrop, mittels welchem man den Kreis durch das Galvanometer schliessen und nach Belieben dessen Richtung durch diesen Theil der Leitung verändern konnte. Von dem unteren Ende des vertical hängenden Präparates ging eine Faden-

schlinge durch ein kleines Loch in den Boden der feuchten Kammer und vereinigte das Präparat mit dem Hebel von Fick's Arbeitssammler [1]). Der Hebel war fast ganz equilibrirt, so dass während der Nacht der Muskel nur einer geringen Spannung ausgesetzt war. Mittels eines Fadens konnte der Hebel gehoben werden, so dass die Last = 0 wurde, ohne dass man die Hand an das Präparat zu nähern nöthig hatte.

Nach einer Viertelstunde waren die durch unsere Stellung in der Nähe der Galvanometerleitungen und des Präparates hervorgebrachten Variationen in den die Leitung durchlaufenden unvermeidlichen Thermoströmen gering genug geworden, um uns zu erlauben, die Versuche anzufangen. Die Galvanometernadel wanderte mit einer Schnelligkeit von 3 Scalentheilen in der Minute nach der Seite der kleinen Zahlen. Als der Versuch angefangen wurde, stand sie an dem 620. Scalentheile. Um 11 Uhr 9 Min. wurde das Präparat entlastet, und dabei wurden die in die zweite Columne des unten stehenden Protokolles aufgenommenen Wendepunkte aufgezeichnet. Dadurch werden die in die dritte Columne aufgenommenen Gleichgewichtslagen berechnet, während die vierte die Grösse der Ausschläge, von der Gleichgewichtslage am Anfange des Versuches berechnet, angibt. Diese Columne gibt also den Temperaturwechsel während des Entlastens und nach demselben an, wobei zu bemerken ist, dass der Gyrotrop so gestellt worden war, dass ein Ausschlag nach den grösseren Zahlen eine Abkühlung bedeutet.

---

1) Dieses Instrument besteht, wie bekannt, aus einem leicht beweglichen Schwingungsrade, auf dessen Achse ein Faden aufgewunden wird, der die Last trägt. Durch eine Sperreinrichtung hindert man das Rad sich in der Richtung zu drehen, in welcher die Last es zu bewegen strebt. Um dieselbe Achse wie das Schwingungsrad dreht sich ein Hebel, auf welchen der Muskel wirkt. Dieser Hebel ist auch durch eine Sperreinrichtung mit dem Schwungrad verbunden, so dass das Rad, wenn der Muskel den Hebel hebt, an der Bewegung des Hebels theilnehmen muss und somit die Last aufwindet. Wenn aber der Hebel wieder hinabfällt, wird das Rad zufolge der Wirkung der Sperreinrichtung unbeweglich. Auf diese Weise kann der Muskel für jede Contraction die Last ein wenig aufwinden, und durch wiederholte Contraction kann auch ein kleiner Froschmuskel eine beachtenswerthe Summe von mechanischer Arbeit ausführen.

Versuch Nr. 1.

11 Uhr 9 Min.	620	620	Entlastung von schwacher Spannung bis 0.
	633	628 — 8	
	637	635 — 15	
	636	636 — 16	
	638	637 — 17	
	—	— —	
11 Min.	639	639 — 19	

Versuch Nr. 2.

11 Uhr 21 Min.	628	628	Belastung schwach.
	618	622 + 6	
	615	616 + 12	
	613	614 + 14	
	—	— —	
23 Min.	612	612 + 16	

Versuch Nr. 3.

11 Uhr 29 Min.	619	619	Entlastung bis 0.
	631	626 — 7	
	634	633 — 14	
	636	636 — 16	
	—	— —	
31 Min.	637	637 — 18	

Versuch Nr. 4.

11 Uhr 33 Min.	636	636	Belastung schwach.
	625	630 + 6	
	626	626 + 10	
	620	623 + 13	
	621	621 + 15	
	620	620 + 16	
	618	619 + 17	
	640 [1])		

Versuch Nr. 5.

11 Uhr 41 Min.	632	632	Entlastung bis 0.
	646	640 — 8	
	652	649 — 17	
	654	653 — 21	
	653	653 — 21	
	—	— —	
43 Min.	652	652 — 20	

Versuch Nr. 6.

Die untere Sperreinrichtung des Arbeitsammlers wurde abgeschraubt, so dass bei der Senkung des Hebels eine Beladung von etwa 150^g das Präparat dehnte.

1) Der Heizer ging durch das Zimmer, wodurch die Magnetnadel beunruhigt wurde.

11 Uhr 49 Min.	640	640	Belastung 150 g.
	620	628 + 12	
	621	621 + 19	
	612	616 + 24	
	614	613 + 27	
	610	612 + 28	
	611	611 + 29	
	608	609 + 31	
	606	607 + 33	
	—	— —	
51 Min.	603	604 + 36	
	600	601 + 39	
	—	— —	
	600	600 + 40	

Versuch Nr. 7.

11 Uhr 54 Min.	600	600	Entlastung bis 0.
	623	613 — 13	
	622	622 — 22	
	629	626 — 26	
	627	628 — 28	
	632	630 — 30	
	631	631 — 31	
	633	632 — 32	
	—	— —	
56 Min.	634	634 — 34	

Versuch Nr. 8.

11 Uhr 58 Min.	638	638	Belastung 150 g.
	617	626 + 12	
	618	618 + 20	
	602	609 + 29	
	603	603 + 35	
	—	— —	
59 Min.	604	604 + 34	
	603	603 + 35	

Versuch Nr. 9.

Die Belastung auf dem Arbeitsammler wurde durch die untere Sperrung gehindert auf den Hebel zu wirken, so dass bei der Senkung des Hebels das Präparat von einer schwachen Belastung gedehnt wurde.

12 Uhr 26 Min.	608	608	1 Entlastung mit sogleich folgender Belastung (kleines Gewicht).
	611	610 — 2	
	607	608 — 0	
	608	608 — 0	
	606	607 + 1	
	601	603 + 5	
	—	— —	
28 Min.	606	604 + 4	

Versuch Nr. 10.

12 Uhr 29 Min	605	605	3 Entlastungen mit 3 Belastungen (kleines Gewicht).
	610	608 — 3	
	606	608 — 3	
	608	607 — 2	
	604	606 — 1	
	606	605 — 0	
	—	— —	
30 Min.	605	605 — 0	
	—	— —	
31 „	604	604 + 1	

Versuch Nr. 11.

12 Uhr 32 Min.	604	604	4 Entlastungen mit 4 Belastungen (kleines Gewicht).
	611	608 — 4	
	610	610 — 6	
	611	611 — 7	
	—[1]	— —	
	606	— —	
	605	605 — 1	
	603	604 — 0	
	—	— —	
34 Min.	603	604 + 1	

Versuch Nr. 12.

12 Uhr 48 Min.	593	593	3 Entlastungen mit 3 Belastungen (kleines Gewicht).
	605	600 — 7	
	598	598 — 5	
	598	596 — 3	
	592	595 — 2	
	593	593 — 0	
	—	— —	
49 Min.	591	592 + 1	
	592	592 + 1	

Versuch Nr. 13.

Die Sperreinrichtung des Arbeitsammlers wurde abgekoppelt, so dass die Belastung bei der Senkung des Hebels sich auf 150 g belief.

12 Uhr 51 Min.	591	591	3 Entlastungen mit 3 Belastungen (150 g).
	600	596 — 5	
	588	593 — 2	
	593	591 — 0	
	588	590 + 1	
	591	590 + 1	
	588	589 + 2	
	590	589 + 2	
	—	— —	
53 Min.	589	589 + 2	

---

1) Nicht notirt.

Versuch Nr. 14.

12 Uhr 53 Min.	589	589	Entlastung (150 g).
	610	601 — 12	
	609	609 — 20	
	615	612 — 23	
	619	617 — 28	
	618	618 — 29	
	620	619 — 30	
	—	— —	
55 Min.	620	620 — 31	

Versuch Nr. 15.

12 Uhr 57 Min.	621	621	3 Entlastungen mit 3 Belastungen (150 g).
	611	615 + 6	
	617	614 + 7	
	616	616 + 5	
	614	615 + 6	
	—	— —	
59 Min.	613	613 + 8	

Versuch Nr. 16.

1 Uhr 0 Min.	612	612	3 Entlastungen mit 3 Belastungen (150 g).
	610	611 + 1	
	597	602 + 10	
	604	601 + 11	
	603	603 + 9	
	—	— —	
2 Min.	605	605 + 7	

Ehe wir weiter gehen, ist es angemessen, diese Versuche mit einigen Bemerkungen zu begleiten. Zuerst muss bemerkt werden, dass wir die Berechnungen der Gleichgewichtslage mit Anwendung desselben Dämpfungsverhältnisses 1,41 vorgenommen, das wir gefunden haben, wenn der Kreis durch die Säule von 10 Elementen geschlossen worden war, obschon wir hier eine andere Säule mit 6 Elementen angewandt haben. Dies ist indessen völlig berechtigt, weil der Unterschied zwischen dem Leitungswiderstand der zwei Säulen nicht so gross war, dass er auf die erste Decimalstelle des Dämpfungsverhältnisses einwirkte. Zweitens muss auch bemerkt werden, dass wir die Wendepunkte selbst in den Fällen notirt haben, wo die Magnetnadel nicht ordentliche Oscillationen ausgeführt hat, sondern in Folge langsam fortschreitender Stromveränderungen unaufhörlich in dieselbe Richtung gewandert ist. Dabei haben wir als Regel aufgestellt, die Stellung der Magnetnadel zu notiren, selbst wenn dieselbe nur einen Augenblick stehen geblieben ist ohne eine zurückgehende Schwingung zu thun, ja sogar selbst wenn

sie in ihrer Bewegung bedeutend retardirt worden ist, ohne völlig stehen zu bleiben, und dann mit zunehmender Schnelligkeit dieselbe Richtung fortgesetzt hat. Um die in diesem Falle unvermeidlich etwas willkürliche Aufzeichnung zu sichern, haben wir unser Augenmerk auf die Oscillationszeit gerichtet, so dass die in der zweiten Columne aufgeführten Ziffern im Allgemeinen die Stellung der Magnetnadel für jede 9. Secunde ausdrücken. Welchen Werth unsere Berechnung der Gleichgewichtslage nach der aufgestellten Schablone hat, wollen wir dahingestellt sein lassen; irreleitend kann sie jedenfalls nicht sein. Man mag derselben nur nicht zu grosse Bedeutung beimessen; sie gibt uns nämlich für eine ungleichmässig fortlaufende Variation der Stromstärke, wie die hier besprochene, nicht die Gleichgewichtslage in einem gewissen Momente an, sondern sie sagt uns nur, dass die berechnete Gleichgewichtslage der Stärke des einmal während des Zeitintervalles zwischen den zwei notirten Lagen durch die Bussole circulirenden Stromes entspricht.

Fassen wir die Resultate der hier aufgenommenen Versuche zusammen, so zeigen die fünf ersten, dass, wenn die Belastung von einigen Grammen bis 0 vermindert wurde, die Magnetnadel eine Abkühlung der Muskeln angab, welche während des Laufes der zwei ersten Minuten bis zu 18—21 Scalentheilen allmählich wuchs, und wenn dieselbe Belastung wieder auf die Muskeln angewandt wurde, eine Erwärmung, die, während derselben Zeit, allmählich 16—17 Scalentheile betrug. Wurde die dehnende Belastung von 0 bis zu 150^{g} gesteigert, so betrug der Galvanometerausschlag am Ende der zweiten Minute, wo er kaum sein Maximum erreicht, 35—40 Scalentheile und bei der Entlastung von 150^{g} bis 0 31—35 Scalentheile, im ersten Falle eine Erwärmung, im zweiten eine Abkühlung angebend. Man vergleiche die Versuche, 6, 7, 8, 14. Wenn wir die Muskeln einen Augenblick von der dehnenden Last befreiten und dann wieder diese applicirten, so zeigte die Magnetnadel gleich im Anfang eine kleine Bewegung nach den grossen Zahlen der Scala, um bald zu der ursprünglichen Gleichgewichtslage zurückzukehren. Dasselbe Experiment 3—4 mal gleich nach einander ausgeführt, damit ein möglicherweise hervorgerufener Temperaturwechsel durch Multiplication erweisbar werden möchte, gab denselben negativen Aus-

schlag. Ein Ausschlag von weniger als 5 Scalentheilen kann bei diesen Versuchen kaum in Betracht kommen. Wenn wir aber dieselben Versuche in umgekehrter Ordnung ausführten, so dass die Muskeln am Anfang des Versuches unbelastet waren und dann schnell einige Male belastet und wieder entlastet wurden, so gab die Bussole eine, wenn auch geringe Erwärmung des Präparates an, die schon während der ersten Schwingungen ihr Maximum erreichte.

Eines muss bei diesen Versuchen unerwartet erscheinen und bei Manchem vielleicht Zweifel erregen, der Umstand nämlich, dass der Temperaturwechsel nicht Hand in Hand mit den Belastungen und den Entlastungen ging, sondern sich allmählich während eines verhältnissmässig langen Zeitraumes entwickelte. Man hätte erwarten sollen, dass, wenn die Spannung vermehrt oder vermindert wird, dies eine, wenn auch minimale Veränderung im Volumen des Muskels hervorbringen würde, was sich dann sogleich kund geben müsste durch eine entsprechende Entbindung respective Bindung von Wärme, so dass also die Temperatur des Muskels ebenso schnell vermehrt oder vermindert würde, als die Spannung verändert wurde. Wir glauben, dass die richtige Erklärung des Abnehmens der Geschwindigkeit des Temperaturwechsels zum grössten Theile wenigstens in den elastischen Eigenschaften des Muskels zu finden ist. Es ist nicht zu bestreiten, dass die Theorie erfordert, dass der Temperaturwechsel mit den Volumveränderungen, der Zeit nach, zusammenfallen soll. Dagegen ist es gar nicht erwiesen, dass die Volumveränderungen des Muskels, wofern solche durch Veränderung der Spannung hervorgerufen werden können, sich ebenso schnell entwickeln, wie sich die Spannung verändert. Das Einzige, das uns hierbei einen Leitfaden für unser Urtheil geben kann, das sind, ausser den hier besprochenen Temperaturschwankungen, die Veränderungen der Länge des Muskels. Wenn die Volumveränderung, wie zu vermuthen ist, mit den Längevariationen zusammenhängt, so ergibt sich aus unseren vorhergehenden Erörterungen, dass die Temperaturschwankungen sich langsam entwickeln müssen, auch wenn die Spannung sich plötzlich verändert. Es ist nämlich seit Wertheim und Weber eine bekannte Thatsache, dass der Muskel, wenn er durch ein Gewicht plötzlich gespannt wird, keine bestimmte, der Grösse des Gewichtes

entsprechende Länge annimmt, sondern dass dieselbe Länge eine Function nicht nur des Gewichtes, sondern auch der Zeit ist. Diese Eigenschaft, die übrigens nicht dem Muskel allein, sondern auch anderen Körpern, wie z. B. dem Kautschuk eigen ist, ist in höherem oder geringerem Grade bei verschiedenen Muskeln und bei demselben Muskel unter verschiedenen Umständen entwickelt. Das von uns hier angewandte Präparat, das unter leichter Spannung ungefähr 20 Stunden in der feuchten Kammer gehängt, besass ohne Zweifel diese Eigenschaft in hohem Grade entwickelt. Alle Bedingungen waren dafür gegeben. Leider hatten wir diesmal den Versuch nicht so angeordnet, dass wir mit Ziffern diese Behauptung erhärten können, da wir nicht die Längevariationen des Muskels maassen. Wir haben jedoch auch Versuche ausgeführt, in welchen wir mit Hilfe der graphischen Methode uns Gelegenheit verschafft haben, die Temperaturschwankungen mit den elastischen Eigenschaften des Muskels und besonders mit dessen sog. secundären Längevariationen zusammenzustellen.

Eine andere Sache, die Verdacht erregen kann, ist die kleine Temperaturzunahme, die sich in den zwei letzten Versuchen, Nr. 15 und 16, zeigt. Es scheint auf den ersten Blick selbstverständlich, dass, wenn ein ungespannter Muskel während kurzer Zeit mit einem nicht allzu grossen Gewichte einmal oder mehrere Male gespannt wird, zuletzt aber in seinen ursprünglichen ungespannten Zustand und somit, nach unserer oben gemachten Annahme, zu seinem ursprünglichen Volumen zurückkehrt, er dadurch keiner Veränderung habe unterliegen können, also auch nicht habe erwärmt werden können. Das entgegengesetzte Experiment (s. die Versuche 9, 10, 11, 12, 13), wo die Bedingungen im Uebrigen ein ganz analoges Resultat zu geben scheinen, stützt diese Vorstellung. Wenn also unser Raisonnement auch falsch wäre, wie wir aus der Wärmemechanik erfahren, so würde doch immer dieser Widerspruch bleiben. Unser Raisonnement war falsch. Die mechanische Wärmetheorie hat uns gelehrt, dass die Temperatur eines Körpers, wenn dieser durch äussere Kraft von einem Volumen zu einem anderen übergeführt wird, nicht nur von dem Anfangs- und Schlussvolumen abhängt, sondern auch von dem Wege, auf welchem diese Veränderung sich

vollzogen hat. Wenn nach beendigter Dehnung der Muskel zu seinem ursprünglichen Volumen und Wärmegrade zurückkommt, kann dies darauf beruhen, dass er beim Zurückgehen denselben Weg gegangen ist, den er bei der Dehnung eingeschlagen. In der Art wäre das Verhältniss gewesen, wenn diese Experimente mit Körpern ausgeführt worden, die gewöhnliche elastische Eigenschaften besitzen [1]). Für Muskeln dagegen, deren Volumen von der Zeit abhängig ist, muss es bei Versuchen dieser Art schwer sein, in der letzten Hälfte des Experimentes zu ihrem ursprünglichen Volumen und Spannung auf demselben Wege zurückzugehen, der in der ersten Hälfte des Experimentes befolgt wurde. Nehmen wir an, dass das Volumen des Muskels bei der Vermehrung der Spannung von 0 bis zu einem gegebenen Gewichte der Curve *a b* (Fig. 1) folgt, wo die Ordinate dem Volumen des Muskels und die Abscisse seiner Spannung proportional sind, so lehrt uns die Erfahrung, vorausgesetzt

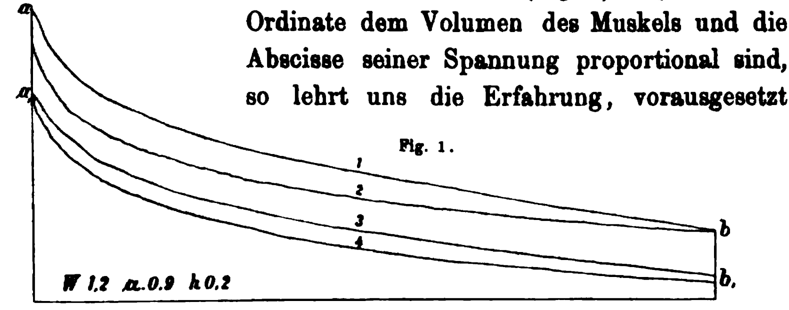


Fig. 1.

nämlich, dass das Volumen und die Länge proportional sind, dass der Muskel bei dem Rückgang zu der ursprünglichen Belastung in Folge der secundäre Dehnung einer andern und zwar niedrigeren Curve (*b* 2 *a*) folgt, die sich von der ersten Curve um so mehr entfernt, je grösser die Maximalbelastung gewesen und je längere Zeit der Muskel im Allgemeinen gespannt gewesen ist. Die zwischen den beiden Curven eingeschlossene Oberfläche repräsentirt eine Arbeit, die während der Ausführung des Experiments als solche verloren gegangen ist, und die wir als Wärme im Muskel wiederfinden müssen. Aehnlich wird natürlich das Resultat, wenn wir unser Experiment bei der Spannung *b* beginnen, und davon das Volumen des Muskels die Curve zurück zu *a*, in derselben Richtung folgen lassen. In den beiden Fällen sollten wir also eine der zwischen den Curven eingeschlossenen Oberfläche entsprechende Erwärmung des Muskels finden.

1) Vgl. Edlund's Versuch mit Metalldrähten, a. a. O.

Dass unsere Experimente mit diesen theoretischen Betrachtungen nicht völlig übereinzustimmen scheinen, soweit sie freilich eine schwache Erwärmung angeben, wenn wir das Experiment von der Spannung a (= 0) ausgehend, ausführen, nicht aber wenn wir von der Spannung b ausgehen, das hängt davon ab, dass die beiden Curven in der That bei den Experimenten der letzteren Art weniger von einander abweichen als bei Experimenten der ersten Klasse. Dabei setzen wir natürlich voraus, dass alle Umstände mit Ausnahme der Ausgangspunkte gleich sind, besonders dass die Versuchszeit dieselbe ist, und dass die Volumveränderung, wie schon gesagt, den Veränderungen der Länge parallel ist.

Von der beigefügten Figur wird dieses Verhältniss auf eine überzeugende Weise illustrirt. Die dort befindlichen Curven sind mittels eines von uns vor mehreren Jahren construirten Myographions gewonnen worden, der so eingerichtet ist, dass es das Verhältniss zwischen der Länge und der Spannung des Muskels registrirt. Die Ordinate ist den Längevariationen des Muskels, die Abscisse den Belastungen proportional. Der Schreibhebel des Myographions vergrössert die Längevariationen in dem Verhältniss von 9 : 2. Die Minimalbelastung bei a und a' beträgt nicht 5^{g}, und die Steigerung wird = der beweglichen Belastung (1200^{g}) mal deren Hebelarm (11^{cm} = die Länge der Abscisse zwischen a und b), mit dem Hebel des Muskelpräparats (20^{cm}) dividirt = 660^{g}. Das Präparat bestand aus den *musculi graciles* eines grossen eben getödteten Frosches. Während seine Spannung von 5^{g} bis 665^{g} durch alle die dazwischenliegenden Spannungen wächst, folgen die Längenzuschläge der Curve $a\,1\,b$, und während unmittelbar darnach die Spannung auf dieselbe Weise zu 5^{g} zurückgeht, der Curve $b\,2\,a$. Die zwei anderen Curven sind um grössere Deutlichkeit zu erzielen auf eine niedrigere Abscisse aufgezogen. Die Muskeln sind ungefähr eine Minute mit der Maximalbelastung gespannt worden. Das Experiment hat also bei b' mit der Maximalbelastung begonnen, die zu einer minimalen allmählich vermindert worden ist, wobei das Präparat die Curve $b'\,4\,a'$ beschrieben hat, und unmittelbar darnach ist die Belastung auf dieselbe Weise bis zum Maximum wieder vermehrt worden, so dass die Curve $a'\,3\,b'$ beschrieben wurde. Es liegt auf der Hand, dass der zwischen den

Curven 1 und 2 eingeschlossene Raum grösser ist als derjenige zwischen 3 und 4. Die Ursache der Nichtübereinstimmung muss darin liegen, dass die secundäre Dehnung des Muskels sich langsamer entwickelt, wenn sie in negativer Richtung (= Verkürzung) geht, als wenn sie in positiver Richtung (= Verlängerung) geht. Dass dies das Verhältniss wirklich ist, davon haben wir oft Gelegenheit gehabt uns zu überzeugen.

Da der Leser sowohl als der Verfasser die angeführten Versuche nicht genügend ansehen kann, um als Beweise zu dienen, weder für noch gegen die Frage, die wir uns vorgelegt, so gehen wir dazu über, auf experimentellem Wege einige von den Einwänden, die man dagegen machen kann, zu prüfen.

In erster Linie drängt sich uns der von Heidenhain angedeutete und von Steiner[1]) ziemlich deutlich ausgesprochene Einwurf auf, dass der Ausschlag des Galvanometers darauf beruhen könne, dass der Muskel bei der Dehnung an den Löthstellen der Thermosäule sich verschiebe, wodurch diese in Berührung mit anderen Theilen des Muskels kämen, welche eine andere Temperatur haben. Der Umstand kann ja nicht geleugnet werden, dass eine Verschiebung zwischen dem Muskel und der Thermosäule stattfindet, sobald der Muskel seine Form verändert. Dass der Muskel eine verschiedene Temperatur an den verschiedenen Stellen, die mit der Säule in Berührung kommen, hätte, mag wohl für den Fall wahrscheinlich erscheinen, dass man die Haidenhain'sche Thermosäule anwendet, deren Löthstellen mit der freien Oberfläche des Muskels in Berührung sind, und dass das Präparat in einer nicht genügenden feuchten Kammer eingeschlossen ist, so dass diejenigen Theile der Oberfläche des Muskels, die augenblicklich von der Säule nicht geschützt werden, der Abkühlung durch Wasserabdunstung ausgesetzt werden. Wendet man aber Fick's Thermosäule an, in welcher die Löthstellen mitten in der Muskelmasse des Präparates liegen, trägt man dafür Sorge, dass die Kammer wohl angefeuchtet ist, so dass der Muskel nicht durch Abdunstung abgekühlt wird, und hat man endlich so lange mit der Ausführung der Experimente gewartet, bis eine vollständige Temperaturaus-

1) a. a. O.

gleichung in der Luft der Kammer und der Säule sich hat entwickeln können, so sollte, scheint uns, wenig Grund bleiben, die Einwirkung einer kleinen Verschiebung der Löthstellen zu fürchten.

Indes mahnt uns dies, der Anordnung der feuchten Kammer bei unsern Versuchen besondere Sorgfalt zu widmen, weil die Möglichkeit für falsche Beobachtungen gegeben ist, wenn das Präparat verschiedene Temperatur in seinen verschiedenen Theilen hat, ein Verhältniss, das doch eintrifft, wenn die Oberfläche des Präparats stets durch Abdunstung in einer mit Feuchtigkeit nicht völlig gesättigten Kammer abgekühlt wird. Aus einem anderen Grunde aber ist es auch wichtig, dass die Kammer mit aller Sorgfalt präparirt wird. Westermann[1]) hatte schon beobachtet, dass der grössere oder kleinere Grad der Feuchtigkeit der Kammer die Grösse der Ausschläge bei der Dehnung des Muskels wesentlich veränderte. Es gelang ihm nicht, von diesem Verhältniss eine Erklärung zu geben, und auch uns ist dies nicht gelungen. Wir haben indess durch wiederholte Versuche die Richtigkeit der Westermann'schen Beobachtung constatirt. Um uns zu überzeugen, dass es nicht auf der Verschiedenheit der Temperatur in den verschiedenen Theilen des Präparates ankam, welche um so mehr ausgeprägt werden musste, je trockener die Kammer war, machten wir mehrere Controlversuche, von denen wir eine Serie anführen wollen.

Bei den Versuchen dieser Serie belasteten wir das Präparat nicht, sondern liessen die Muskeln Zuckungen ausführen, einmal in feuchter, das andere Mal in trockener Kammer, und beobachteten die dabei gewonnenen Galvanometerausschläge. Die hierbei hervortretenden Differenzen in der Grösse der Ausschläge scheinen uns nicht auf einer Verschiebung der Löthstellen zu beruhen, sondern auf anderem Wege zu erklären zu sein.

Versuche vom 7. December. Serie III.

Die beiden *semimembranosi* und *graciles* eines ungarischen Frosches wurden um 3 Uhr 30 Min. in die Kammer eingesetzt in der Absicht, auszuforschen, ob die Feuchtigkeit der Kammer auf die Grösse der Ausschläge auch bei den Zuckungen der Muskel

1) a. a. O.

einwirke. Der Arbeitsammler war mit 300g belastet, der Hebel nicht equilibrirt. Die Reizungen, vier an der Zahl bei jedem Versuche, bestanden in Oeffnungsinductionsschlägen, die durch das Präparat geleitet wurden, und somit direct reizend wirkten. Die Reizungsintervalle von ungefähr 1/2 Secunde wurden mit Hilfe des Tiegel'schen Apparats regulirt. Die Thermosäule mit 6 Elementen wurde benutzt, und das Ende, das zwischen die Muskeln des Präparats nicht eingeführt war, wurde mit ein paar anderen Muskelstücken desselben Frosches umgeben, welchem das Präparat entnommen worden war. Nach 1 1/4 Stunde war die Temperatur so weit ausgeglichen, dass die Versuche angefangen werden konnten.

Versuch Nr. 1.

4 Uhr 45 Min.	140	140	4 Zuckungen in feuchter Kammer (schwache Reizung).
	77	103 + 37	
	120	102 + 38	
	98	107 + 33	
	119	110 + 30	
	108	113 + 27	
	120	115 + 25	
	114	117 + 23	
	121	118 + 22	
	118	120 + 20	
	—	— —	
47 Min.	125	125 + 15	

Versuch Nr. 2.

4 Uhr 53 Min.	123	123	4 Zuckungen in feuchter Kammer (stärkere Reizung).
	47	79 + 44	
	91	73 + 50	
	65	76 + 47	
	88	78 + 45	
	76	81 + 42	
	88	83 + 40	
	82	85 + 38	
	88	85 + 38	
	—	— —	
55 Min.	90	90 + 33	

Versuch Nr. 3.

5 Uhr 0 Min.	102	102	4 Zuckungen in feuchter Kammer.
	27	58 + 44	
	73	54 + 48	
	48	58 + 44	
	71	61 + 41	
	59	64 + 38	

	71	66 + 36	
	66	68 + 34	
	72	69 + 33	
	70	71 + 31	
	—	— —	
2 Min.	80	80 + 22	

Versuch Nr. 4.

6 Uhr 21 Min.	166	166	4 Zuckungen in trockener Kammer.
	63	106 + 60	
	130	102 + 64	
	94	109 + 57	
	127	113 + 53	
	—	— —	

Versuch Nr. 5.

6 Uhr 30 Min.	148	148	4 Zuckungen in trockener Kammer.
	51	91 + 57	
	113	87 + 61	
	80	94 + 54	
	111	98 + 50	
	94	101 + 47	
	110	103 + 45	
	103	106 + 42	
	112	108 + 40	
	109	110 + 38	
	—	— —	
35 Min.	115	115 + 33	

Versuch Nr. 6.

6 Uhr 39 Min.	141	141	4 Zuckungen in trockener Kammer.
	48	87 + 54	
	107	82 + 59	
	75	88 + 53	
	105	92 + 49	
	89	96 + 45	
	104	98 + 43	
	97	100 + 41	
	105	102 + 39	
	103	104 + 37	
	—	— —	
41 Min.	109	109 + 32	

Versuch Nr. 7.

7 Uhr 20 Min.	116	116	4 Zuckungen in feuchter Kammer.
	57	82 + 34	
	91	77 + 39	
	72	80 + 36	
	90	82 + 34	
	82	85 + 31	
	91	87 + 29	
	88	89 + 27	
	93	91 + 25	
	—	— —	

Wenn wir die einzelnen Versuche durchmustern, werden wir finden, dass wir es hier mit einer Temperaturvariation zu thun haben, die in mehrfacher Hinsicht sich von derjenigen, die sich in den vorhergehenden Dehnungsversuchen offenbarte, unterscheidet. Statt dass es bei den vorhergehenden Versuchen mehrerer Minuten bedurfte, ehe der Ausschlag sein Maximum erreichte, hat er in den letzten Versuchen schon während des Laufes der zweiten Oscillation das Maximum erreicht, also innerhalb der ersten 18 Secunden. Hätten wir die Muskeln anstatt der vier Zuckungen nur eine einzige Zuckung für jeden Versuch ausführen lassen, so hätte der Ausschlag, wie dies Theorie und Erfahrung zeigen, schon während der ersten Schwingung das Maximum erreicht. Nachdem der Ausschlag sein Maximum erreicht, nimmt er anfangs schnell ab, später langsamer, um sich der ursprünglichen Gleichgewichtslage asymptotisch zu nähern. Dies ist eine natürliche Folge der Abkühlung des Präparates, die sich anfangs schneller vollzieht, weil die Temperaturdifferenz zwischen dem Präparate auf der einen Seite und der Thermosäule und den das Präparat zunächst umgebenden Luftlagen auf der anderen dabei grösser ist. Es versteht sich von selbst, dass die Temperaturveränderung desto schneller vorgeht, je geschwinder die primäre Temperaturveränderung im Muskel eintritt. Daher tritt auch die Ausgleichung bei den Dehnungsversuchen ungemein langsamer hervor, als bei den Zuckungsversuchen, und verhältnissmässig langsamer, wenn der Muskel mehrere Zuckungen ausgeführt, als wenn er nur deren wenige gemacht. Natürlich wird auch der endgültige Ausschlag kleiner für dieselbe Wärmesteigerung, wenn die Erwärmung langsam eintritt, als wenn sie sich schnell vollzieht, und zwar aus dem Grunde, weil im vorigen Falle ein Theil der Wärme schon während der Erwärmung abgeleitet werden kann oder muss und somit die ganze erzeugte Wärmemenge nicht zur Erhöhung der Temperatur des Muskels angewandt werden kann. Die bei den vorhergehenden Dehnungsversuchen gefundenen Ausschläge sind daher geringer geworden, als sie sonst hätten werden dürfen, und können schon aus diesem Grunde nicht ohne eine bedeutende Correction zu quantitativer Bestimmung der entbundenen bezüglicherweise gebundenen Wärmemengen angewandt werden.

Eine Zusammenstellung der letzten Versuche zeigt auf das deutlichste, dass die Feuchtigkeit der Kammer einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Ausschläge der Bussole bei der Arbeit des Muskels ausübt. Es frägt sich nun, ob dies einer Veränderung der Wärmeerzeugung des Muskels zuzuschreiben sei, so dass derselbe Muskel unter im Uebrigen ähnlichen Umständen mehr Wärme produciren würde, wenn er sich in trockener Luft befand, als wenn er von feuchter Luft umgeben war, oder ob dies auf irgend einem anderen Umstand beruhe, der also wohl im Zusammenhang mit der Methode stehen muss, die man für die Messung der Temperaturveränderung angewandt hat. Das letztere scheint a priori wahrscheinlicher, zumal wenn wir unsere Versuchsresultate mit dem schon besprochenen Umstande zusammenhalten, dass nämlich die Ausschläge bei der Dehnung des Muskels in der trocknen Kammer grösser werden als in der feuchten. Westermann hat sich viel Mühe gegeben, die Ursachen ausfindig zu machen, die die Grösse des Galvanometerausschlages verminderte, wenn Präparat und Säule mit von Feuchtigkeit gesättigter Luft umgeben wurden, und er hat sich versichert, dass dies jedenfalls nicht auf einer von der Feuchtigkeit abhängigen grössern oder kleinern Ableitung der thermoelektrischen Ströme in Folge unzulänglicher Isolirung innerhalb der Säule und zwischen den Leitungsdrähten beruht. Mit der Kenntniss, die wir bis heute von der Natur der elektrischen und hier speciell der thermoelektrischen Ströme besitzen, ist es schwer, sich dies und noch etwas anderes innerhalb des hier angewandten temperaturmessenden Apparats als Ursache des fraglichen Phänomens vorzustellen. Wir sind daher genöthigt, uns an das Muskelpräparat zu wenden, um die Ursache zu finden.

Bei einem Ueberblick über die Veränderungen, die man von der grösseren oder geringeren Feuchtigkeit der den Muskel umgebenden Luft ableiten kann, muss man die Aufmerksamkeit zuerst auf die durch die Abdunstung hervorgerufene Abnahme der Wasserquantität des Muskels richten, welche eintreten muss, wenn dieser eine längere Zeit in trockner Luft hängen bleibt. Da die Temperatur für eine gewisse, dem Muskel zugeführte Wärmemenge nothwendigerweise desto mehr wachsen muss je geringer

die Gewichts- und Wärmecapacität dieses Muskels ist, z. B. je mehr Wasser er durch Abdunstung verloren hat, so könnte man sich vielleicht denken, in der Abdunstung die einfache Lösung des Räthsels zu finden. Obwohl wir aber dieser eine gewisse Bedeutung nicht absprechen können, ist dieselbe doch nicht im Stande, die erwünschte Erklärung zu liefern, wovon wir übrigens mit Hilfe des Experiments uns leicht überzeugen können. So z. B. zeigte dies einmal, dass ein Muskel, der 2,16g wog, in 1½ Stunden, während welcher Zeit er im Arbeitszimmer hing, also in verhältnissmässig trockener Luft, 0,06g verlor, d. h. nicht völlig 3% seines Gewichtes. Auch wenn wir in die Berechnung mitaufnehmen, dass die Wärmecapacität des Wassers 10, höchstens 12% grösser ist als diejenige der Muskelsubstanz, ist doch die geringe Verminderung der Wasserquantität, die sich während der Zeit entwickeln kann, welche für diese Experimente gewöhnlich nöthig ist, lange nicht genügend, um die 30, sogar bei einigen von Westermann's Versuchen, 100—400% betragende Differenz zwischen den von dem Galvanometer gegebenen Ausschlägen zu erklären.

Man könnte vielleicht auch denken, dass die grössere oder kleinere Wasserquantität des Muskels auf die Art oder den Umfang der chemischen Processe einwirken könne, die die Muskelcontraction begleiten, und darin alsdann die Ursache der ungleichen Wärmeerzeugung suchen wollen. Erstens aber fehlt es einer solchen Hypothese an jeglicher Stütze. Zweitens bringt sie keine Erklärung der Thatsache, dass die Dehnungsausschläge in der feuchten Kammer kleiner werden, wovon wir uns durch besondere Experimente überzeugten.

Endlich könnte man daran denken, die Abnahme der Grösse des Ausschlags einer mit der Wasserquantität der Luft wachsenden Leitungsfähigkeit für Wärme zuzuschreiben, wodurch die Abkühlung des Muskels in der feuchten Kammer beschleunigt würde. Doch auch diese Erklärung ist aus leicht zu ersehenden Gründen hier unannehmbar.

Statt neue, mehr oder weniger haltbare Hypothesen aufzustellen, um das besprochene Phänomen zu erklären, müssen wir uns damit begnügen, anzuerkennen und zu beklagen, dass die thermoelektrischen

Temperaturmessungsmethoden in den übrigens vollendeten Formen, in welchen sie von Heidenhain und Fick in die physiologische Technik eingeführt worden, mit dem gemeinsamen Fehler behaftet sind, dass das Resultat von Factoren beeinflusst wird, deren wahre Natur bisher nicht erkannt worden ist, und die, wenn sie auch wahrscheinlich nicht die Richtung bestimmen können, jedenfalls einen wesentlichen und so gut wie unberechenbaren Einfluss auf die Grösse der gefundenen Quantitäten ausüben können. Dieser mahnt uns mit der grössten Vorsicht alle durch dieselben Methoden gemachten Bestimmungen, vor allem die rein quantitativen, aufzunehmen. Daraus folgt übrigens, dass nur diejenigen Versuche unter einander verglichen werden dürfen, in welchen man ausser anderen Umständen auch der Feuchtigkeit der das Präparat umgebenden Luft gebührende Aufmerksamkeit gewidmet hat.

Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse haben wir alle die unten angeführten Versuche mit Muskeln in der Weise ausgeführt, dass das Präparat sich in einer mit Feuchtigkeit völlig gesättigten Luft von 16 bis 18° C. befand. Obgleich die Ausschläge hierdurch kleiner werden, als wenn das Präparat in eine trockene Kammer eingesetzt worden wäre, haben wir doch diese Methode gewählt, theils weil wir vermuthen, dass der Muskel auf diese Weise seine physiologischen und physikalischen Eigenschaften am längsten unverändert beibehält, theils weil man auf diese Weise einen bestimmten Feuchtigkeitsgrad für die Luft der Kammer am leichtesten gewinnt und dadurch den Vortheil, dass man die verschiedenen Versuche vergleichen und controliren kann, theils schliesslich, weil wir ein bequemes und sicheres Mittel besitzen, zu erkennen, wann die Luft der Kammer gesättigt ist. Dieses Mittel besteht einfach darin, dass man die andere Seite der Thermosäule, d. h. diejenige, die mit dem Präparate nicht in Berührung steht, nicht mit Muskelstücken oder anderen feuchten oder schützenden Gegenständen umgibt. Ist die Kammer nicht mit Feuchtigkeit gesättigt, dann kommt nie eine Temperaturausgleichung zu Stande, weil das Präparat immer zufolge der davon stets stattfindenden Wasserabdunstung abgekühlt bleibt, und ihrerseits die Temperatur der mit ihr in Berührung stehenden Löthstellen herabsetzt. Die Versuche werden dadurch unmöglich

auszuführen, weil das Spiegelbild der Scala nie in das Gesichtsfeld des Ablesungstubus kommt, es sei denn, dass man die Empfindlichkeit des Apparats herabsetzen wollte, z. B. durch die Einführung eines neuen Leitungswiderstandes im Galvanometerkreise, was bei unseren Versuchen nie in Frage kam. Sind dagegen Präparat und Säule von bis zur Sättigung feuchter Luft umgeben, so tritt die Temperaturausgleichung im Allgemeinen ebenso geschwind ein, als wenn man das andere Ende der Säule mit einer feuchten Bedeckung umgeben hätte, wie man dies früher gewöhnlich that.

Wenn wir uns auch nicht schmeicheln, durch dieses Verfahren die der Methode anhaftende und oben besprochene Unsicherheit weggeräumt zu haben, glauben wir uns doch berechtigt, die damit gewonnenen Resultate als Stützen, wenn auch nicht als Beweise für die Beantwortung der aufgestellten Fragen zu bezeichnen. Wir glauben daher, dass es von Nutzen sein kann, einige andere von uns gemachte Versuche anzuführen, welche theils die bei den vorhergehenden Versuchen gemachten Beobachtungen bekräftigen, theils auch dazu geeignet zu sein scheinen, auf eine entschiedene Weise einen wichtigen Einwand gegen die Deutung dieses Experimentes zu Gunsten einer wirklichen Temperaturveränderung bei der Belastung und Entlastung des Muskels umzustossen.

Man kann, wie wir schon bemerkt haben, sich die Ausschläge der Bussole bei den Dehnungsversuchen als eine Folge davon denken, dass die Thermosäule bei den Formveränderungen des Muskels mit anders temperarten Theilen des Muskels in Berührung kommt. Dawider streitet freilich die Erfahrung, dass die Ausschläge immer eine Erwärmung bei der Belastung und eine Abkühlung bei der Entlastung angeben. Eine reine Zufälligkeit kann ja dies nicht sein; es könnte aber darin seine Erklärung finden, dass man die Serie der Experimente gewöhnlich mit der Belastung des Präparates anfängt, nachdem es während längerer oder kürzerer Zeit, während welcher man auf die Temperaturveränderung gewartet, in Contact mit der Säule unberührt geblieben ist. Nähme man da an, dass das Präparat während dieser Zeit aus irgend einem von uns freilich nicht gekannten Grunde in den der Säule zunächst liegenden Theilen immer kälter würde, als in den übrigen Theilen, so wäre

es leicht zu verstehen, dass die erste Dehnung einen Theil der Löthstellen in Berührung mit den wärmeren Theilen des Präparats bringen würde, und dass eine unmittelbar darauf folgende Entlastung sie in die Nähe der supponirten kalten Zone zurückbringen würde. Fingen wir nun unsere Versuchsserie mit der Entlastung des Muskels an, indem wir in der Erwartung der Temperaturausgleichung denselben in gespanntem Zustande gehalten, so sollten meines Erachtens, wenn die hier angegebene Vorstellungsweise richtig wäre, die erste Entlastung auch einen Ausschlag veranlassen, der eine Erwärmung des Präparats angäbe, ebenso wie eine folgende Belastung einen einer Abkühlung entsprechenden Ausschlag geben sollte. Unsere Experimente zeigen indess, dass die Richtungen der Ausschläge nicht von der Ordnung abhängen, in welcher man die Versuchsserie beginnt, sondern unbekümmert um diese, immer bei der Steigerung der Spannung eine Erwärmung und bei deren Abnahme eine Abkühlung angeben. Die schon angeführte Serie ist zufällig eine solche, die mit der Entlastung beginnt. In den zwei folgenden, die mit ein und demselben Präparat ausgeführt worden, das wir in der Zwischenzeit völlig unberührt in der Kammer gelassen hatten, haben wir dergestalt alternirt, dass die erstere mit Belastung, die zweite mit Entlastung anfängt.

Versuch vom 18. December 1880. Serie III.

Das Präparat bestand aus *musculi semimembranosi* uud *graciles* eines relativ kleinen Frosches von der ungarischen Rasse. Die Säule mit 10 Elementen wurde angewandt. Der Arbeitsammler war mit 300g belastet, der Hebel nicht völlig equilibrirt. Im Uebrigen waren die Anordnungen dieselben wie in den oben angeführten Dehnungsversuchen. Das Präparat war früher für zwei Versuchsserien in einer andern Absicht angewandt worden, so dass wahrscheinlich 2 oder 3 Stunden von der Präparirung zum Anfang des Versuches verflossen waren. Die Zeit ist nämlich in diesem Theile des Versuchsprotokolles für diesen Tag nicht notirt worden.

Versuch Nr. 1.

275	275		Belastung.
206	235	+ 40	
222	215	+ 60	
198	208	+ 67	
208	204	+ 71	
196	201	+ 74	
203	200	+ 75	
197	200	+ 75	
200	199	+ 76	
199	199	+ 76	
198	198	+ 77	

Versuch Nr. 2.

196	196		Entlastung.
251	228	— 32	
239	244	— 48	
260	251	— 55	
253	256	— 60	
261	258	— 62	
255	258	— 62	
258	257	— 61	
253	255	— 59	
250	252	— 56	

Versuch Nr. 3.

140	140		Belastung.
72	100	+ 40	
89	82	+ 58	
63	74	+ 66	
75	70	+ 70	
64	69	+ 71	
72	69	+ 71	
68	70	+ 70	
73	71	+ 69	
72	72	+ 68	
76	74	+ 66	

Versuch Nr. 4.

89	89		Entlastung.
147	123	— 34	
135	140	— 51	
156	147	— 58	
148	151	— 62	
157	153	— 64	
152	154	— 65	
156	154	— 65	
151	153	— 64	
150	150	— 61	
146	148	— 59	

Versuch Nr. 5.

105	105		Belastung.
40	67	+ 38	
55	49	+ 56	
29	41	+ 64	
41	36	+ 69	
30	35	+ 70	
36	33	+ 72	
32	34	+ 71	
37	35	+ 70	
33	35	+ 70	
38	36	+ 69	
40	39	+ 66	

Versuch Nr. 6.

32	32		Entlastung + Belastung
56	46	— 14	
22	36	— 4	
43	34	— 2	
25	33	— 1	
38	33	— 1	
28	32	0	
35	32	0	
31	33	— 1	
35	33	— 1	
33	34	— 2	
35	34	— 2	
37	36	— 4	

Versuch Nr. 7.

45	45		Entlastung + Belastung
65	57	— 12	
37	48	— 3	
55	47	— 2	
42	47	— 2	
51	47	— 2	
45	48	— 3	
49	47	— 2	
47	48	— 3	

Versuch vom 19. December 1880. Serie I.

Dehnungsversuche mit den seit vorigem Abend in der Kammer gebliebenen und während der Nacht gespannten Muskeln. Die Anordnungen unverändert.

Versuch Nr. 1.

113	113		Entlastung.
154	137	—24	
150	152	—39	
163	158	—45	
161	162	—51	
168	165	—52	
167	168	—55	
171	169	—56	
170	170	—57	
178	171	—58	
172	172	—59	
174	173	—60	
175	175	—62	
176	176	—63	
⋮	⋮	⋮	
185	185	—72	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 2.

220	220		Belastung.
181	197	+23	
190	186	+34	
180	184	+36	
186	184	+36	
184	185	+35	
190	187	+33	
191	191	+29	
200	196	+24	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3.

222	222		Entlastung + Be-
228	225	—3	lastung.
216	221	+1	
228	222	0	
218	222	0	
225	222	0	
220	222	0	
232	221	+1	
219	220	+2	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4.

59	59		Entlastung + Be-
74	68	—9	lastung.
55	63	—4	
66	61	—2	
58	61	—2	
62	61	—2	
60	61	—2	
62	61	—2	
57	59	0	
61	59	0	
59	60	—1	
59	59	0	
60	59	0	
58	59	0	
59	59	0	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 5.

39	39		Entlastung.
85	66	—27	
79	82	—43	
95	88	—49	
90	92	—53	
96	93	—54	
92	94	—55	
96	94	—55	
93	94	—55	
94	94	—55	
90	92	—53	
88	89	—50	
86	87	—48	
84	85	—46	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 6.

42	42		Belastung + Ent-
23	31	+11	lastung.
44	35	+ 7	
31	36	+ 6	
42	37	+ 5	
35	38	+ 4	
42	39	+ 3	
38	40	+ 2	
42	40	+ 2	
38	40	+ 2	
43	40	+ 2	
41	42	0	
43	42	0	
42	42	0	
⋮	⋮	⋮	

Die ersten Versuche in jeder Serie unterscheiden sich von den folgenden durch eine bedeutendere und anhaltendere secundäre Erwärmung, bezw. Abkühlung. Dies stimmt mit den Veränderungen, denen die elastischen Eigenschaften der Muskeln unterliegen, wenn mehrere Dehnungsversuche dicht auf einander folgen, nicht übel zusammen. In dieser Hinsicht stimmen auch diese Anfangsversuche mit den zuerst angeführten Dehnungsversuchen überein, welche mit einem Präparate von ungewöhnlich grossen und langsamen Längevariationen ausgeführt wurden. Das einzige, was wir in Betreff der letztgenannten Versuche noch hinzufügen wollen, ist die unzweideutige Abnahme der Grösse der Dehnungsausschläge in der letzteren Serie im Vergleich mit denen der ersteren, was wohl einer leicht zu erklärenden Veränderung in der Elasticität der Muskeln zuzuschreiben ist. In der ersten Serie ist der Muskel nämlich noch verhältnissmässig frisch und völlig reizbar, in der zweiten schon lange abgestorben.

Von anderen Versuchen, die wir in der Absicht gemacht, uns darüber zu versichern, ob die mit der angewandten Methode gemachten Beobachtungen auf den Umständen beruhen, mit welchen wir sie in Verbindung setzen (Belastung, Entlastung) und nicht etwa auf anderen Ursachen, wollen wir einige Dehnungsversuche anführen, die wir mit Kautschuk ausgeführt haben. Da das Gesetz für die Temperaturveränderung des Kautschuks bei der Dehnung, in seinen allgemeinen Zügen wenigstens, durch die Untersuchungen von Joule, über deren Zuverlässigkeit man kaum einigen Zweifel hegen kann, bekannt ist, scheint es uns höchst zweckmässig, mit Hilfe dieses Gesetzes die Methode zu prüfen. Wenn unsere Resultate damit nicht stimmen, haben wir guten Grund, die Richtigkeit der Methode anzuzweifeln, sei es dass die Methode dem Kautschuk oder den Muskeln gilt. Stimmen sie dagegen damit überein, so spricht dies zu Gunsten der Methode.

Nach den Untersuchungen von Joule verhalten sich verschiedene Kautschuksorten auf verschiedene Weise. So soll z. B. vulkanisirter Kautschuk bei leichter Dehnung abgekühlt, bei stärkerer Dehnung dagegen erwärmt werden. Eine graphische Darstellung seiner Versuchsresultate, in welchen die Abscisse die Be-

lastung und die Ordinate die Temperatur des Kautschuks bezeichnen, zeigt zwei Haupttheile, einen ersten bogenförmigen Theil, zum Theil unterhalb, zum Theil oberhalb der Abscisse, und einen zweiten geradlinigen Theil. Joule spricht übrigens weder von secundärer Dehnung, noch secundärer Temperaturveränderung. Die primäre Temperaturveränderung ist ihm wahrscheinlich aus dem Grunde entgangen, weil sein Galvanometer eine so lange Oscillationszeit hatte (30 Secunden), während die secundäre Dehnung des Kautschuks verhältnissmässig schnell abläuft. Sehen wir indess zu, was unsere Experimente an die Hand geben.

Das Versuchsmaterial war ein doppeltes Band von rothem vulkanisirtem Kautschuk, ungefähr 3^{cm} lang. Das eine Ende davon wurde in einer Klemme fixirt, das andere wurde mit dem kürzeren Arme eines zweiarmigen Hebels verbunden. Vermittels dieses Hebels, einer Scala und einer einfachen Einrichtung für die Fixirung des Hebels in der gewünschten Position konnte man den Kautschukbändern eine beliebige Länge zwischen bestimmten Grenzen geben. Die Säule mit 10 Elementen wurde zwischen die beiden Bänder eingeführt, welche um die Säule durch kleine Bügel aus feinem Metalldraht dicht zusammengehalten wurden. Die Poldrähte der Säule waren in Quecksilberschalen eingesteckt, so dass die Säule an den Bewegungen des Kautschuks unbehindert Theil nehmen konnte, ohne dass die Leitung aufgehoben oder merkbar erschwert wurde.

Der folgende Versuch fängt an, als der Kautschuk mit einer Belastung von ungefähr 80^{g} gespannt worden war. Zwischen den verschiedenen Versuchen mit Verlängerung und Verkürzung haben wir Controlversuche eingeschoben, in welchen wir diese beiden unmittelbar nach einander ausgeführt haben. Warum das Resultat dabei im Allgemeinen nicht = 0 wird, das haben wir schon oben angezeigt (S. für Fig. 1). Die Rolle, die die Nachdehnung hierbei spielt, fällt um so mehr in die Augen, weil sie sich so rasch entwickelt. Vielleicht ist noch eine andere Ursache hierzu zu suchen. Es zeigt sich nämlich, dass der Kautschuk, wenn er zu einer gewissen Länge ausgezogen und dann zu der ursprünglichen zurückgebracht wird, nicht immer bei den beiden entgegengesetzten Processen Wärmeausschläge gibt, die in entgegengesetzter Richtung gehen. Für unseren Theil sind wir

freilich davon überzeugt, dass dies nur von der durch die elastische Nachwirkung veranlassten Veränderung des Kautschuks herrührt, eine solche Behauptung aber streng zu beweisen, stösst auf Hindernisse, auf deren Beseitigung wir kaum zu hoffen wagen. Wir haben indess zu den genannten Controlversuchen noch einen Spalt gefügt, den wir durch algebraische Summirung der entsprechenden Ausschläge bei den einfachen Versuchen erhalten haben.

Versuch vom 5. Januar 1881. Serie I.

Versuch Nr. 13.

318	318			Dehnung 4 mm +
323	321	+3	0	Abspannung. Die
316	319	+1	+1	Spalte 4 ist aus den
320	318	0	0	Versuchen 14 u. 15
317	318	0	+1	durch algebr. Ad-
318	318	0	0	dition ihrer dritten
317	317	—1	—1	Spalte berechnet
⋮	⋮	⋮	⋮	worden

Versuch Nr. 14.

313	313		Dehnung 4 mm.
302	307	—6	
313	308	—5	
307	309	—4	
312	310	—3	
308	310	—3	
311	310	—3	
310	310	—3	
311	311	—2	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 15.

312	312		Abspannung.
323	318	+6	
314	318	+6	
318	316	+4	
314	316	+4	
316	315	+3	
313	314	+2	
314	313	+2	
313	313	+1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 16.

309	309		Dehnung 8 mm.
327	317	+8	
306	313	+4	
317	312	+4	
309	312	+3	
314	313	+3	
310	312	+3	
312	311	+2	
310	311	+2	
311	311	+2	
310	310	+1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 17.

310	310		Abspannung.
320	316	+6	
310	314	+4	
315	313	+3	
311	313	+3	
313	312	+2	
311	312	+2	
312	312	+2	
310	311	+1	
309	309	—1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 18.

300	300		Dehnung 8 mm.
315	309	+9	
297	304	+4	
308	303	+3	
299	303	+3	
305	303	+3	
300	302	+2	
303	302	+2	
301	302	+2	
302	302	+2	
301	301	+1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 19.

299	299		Abspannung.
306	303	+ 4	
300	302	+ 3	
303	302	+ 3	
300	301	+ 2	
301	301	+ 2	
300	300	+ 1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 20.

296	296			Dehnung 8 ^{mm} +
322	310	+ 14	+ 13	Abspannung.
290	303	+ 7	+ 7	Vierte Spalte von
310	302	+ 6	+ 6	Versuch 18 +
293	300	+ 4	+ 4	19.
304	299	+ 3	+ 4	
295	299	+ 3	+ 2	
300	298	+ 2	⋮	
294	297	+ 1		
298	297	+ 1		
⋮	⋮	⋮		

Versuch Nr. 21.

296	296		Dehnung 11 ^{mm}.
343	323	+ 27	
301	318	+ 22	
322	314	+ 18	
302	311	+ 15	
313	308	+ 12	
302	306	+ 11	
307	305	+ 9	
302	304	+ 8	
305	304	+ 8	
302	303	+ 7	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 22.

298	298		Abspannung.
285	290	— 8	
295	291	— 7	
290	292	— 6	
295	293	— 5	
293	294	— 4	
295	294	— 4	
296	296	— 2	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 23.

298	298			Dehnung 11 ^{mm} +
350	328	+ 30	+ 19	Abspannung.
284	311	+ 13	+ 15	Vierte Spalte von
326	309	+ 11	+ 12	Versuch 21 +
294	307	+ 9	+ 10	22.
314	306	+ 8	+ 8	
298	305	+ 6	+ 7	
308	304	+ 6	+ 7	
300	303	+ 5	⋮	
305	303	+ 5		
301	303	+ 5		
303	302	+ 4		
⋮	⋮	⋮		

Versuch Nr. 24.

300	300		Dehnung 15 ^{mm}.
402	360	+ 60	
313	350	+ 50	
360	340	+ 40	
315	334	+ 34	
337	328	+ 28	
315	324	+ 24	
325	321	+ 21	
313	318	+ 18	
317	315	+ 15	
312	314	+ 14	
314	313	+ 13	
311	312	+ 12	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 25.

305	305		Abspannung.
265	282	— 23	
295	283	— 22	
279	286	— 19	
294	288	— 17	
287	290	— 15	
295	292	— 13	
292	293	— 12	
297	295	— 10	
295	296	— 9	
299	297	— 8	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 26.

304	304			Dehnung 15^{mm} +
385	351	+47	+37	Abspannung.
284	326	+22	+28	Vierte Spalte von
347	321	+17	+21	Versuch 24 +
299	316	+12	+17	25.
330	315	+11	+13	
306	316	+12	+11	
321	315	+11	+9	
309	314	+10	+8	
316	313	+9	+6	
310	312	+8	+6	
312	311	+7	⋮	
⋮	⋮	⋮		

Versuch vom 7. Januar 1881. Serie I.

Die Versuchsanordnung war dieselbe wie im vorigen Versuche mit dem Unterschiede, dass die Verlängerung oder Verkürzung des Kautschuks beim Versuche nicht im Voraus bestimmt wurde, sondern dass der Kautschuk einfach mit verschiedenen Gewichten belastet wurde, deren Grösse notirt wurde. Die Anfangsspannung wie in der vorigen Serie, 80^{g}.

Versuch Nr. 1.

462	462		Die Spannung wurde von 80 bis 426^{g} vermehrt.
451	456	−6	
460	456	−6	
455	457	−5	
460	458	−4	
458	459	−3	
461	460	−2	
460	460	−2	
462	462	−0	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 2.

463	463		Die Spannung wurde von 426 bis 80^{g} vermindert.
477	471	+8	
466	471	+8	
472	470	+7	
465	468	+5	
468	467	+4	
465	466	+3	
466	466	+3	
464	565	+2	
463	463	0	
462	462	−1	
461	461	−2	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3.

460	460			Die Spannung wurde von 80 durch 426 bis 80^{g} variirt.
464	462	+2	+2	
462	463	+3	+2	
462	462	+2	+2	
461	461	+1	+1	
460	460	0	+1	
⋮	⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4.

456	456		Die Spannung wurde von 80 bis 599^{g} vermehrt.
460	462	+6	
459	462	+6	
463	461	+5	
460	461	+5	
462	461	+5	
461	461	+5	
462	462	+6	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 5.

462	462		Die Spannung wurde von 599 bis 80^{g} vermindert.
472	468	+6	
463	467	+5	
467	465	+3	
463	465	+3	
464	464	+2	
461	462	0	
462	462	0	
460	461	−1	
460	460	−2	
459	459	−3	
458	458	−4	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 6.

456	456		
473	466	+ 10	+ 12
455	462	+ 6	+ 11
465	461	+ 5	+ 8
456	460	+ 4	+ 8
462	460	+ 4	+ 7
456	458	+ 2	+ 5
459	458	+ 2	+ 6
456	457	+ 1	+ 5
457	457	+ 1	+ 4
456	456	0	+ 3
⋮	⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 80 durch 599 bis 80 g variirt.

Versuch Nr. 7.

454	454	
513	488	+ 34
467	468	+ 32
492	482	+ 28
468	478	+ 24
481	476	+ 22
468	473	+ 19
474	472	+ 18
468	470	+ 16
471	470	+ 16
467	469	+ 15
468	468	+ 14
⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 80 bis 772 g vermehrt.

Versuch Nr. 8.

466	466	
450	457	— 9
461	456	— 10
454	457	— 9
459	457	— 9
455	457	— 9
458	457	— 9
457	457	— 9
⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 772 bis 80 g vermindert.

Versuch Nr. 9.

456	456		
508	486	+ 30	+ 25
440	468	+ 12	+ 22
483	465	+ 9	+ 19
450	464	+ 8	+ 15
471	462	+ 6	+ 13
454	461	+ 5	+ 10
464	460	+ 4	+ 9
456	459	+ 3	+ 8
461	459	+ 3	
456	458	+ 2	
458	457	+ 1	
456	457	+ 1	
⋮	⋮	⋮	

Die Spannung wurde von 80 durch 772 bis 80 g variirt.

Versuch Nr. 10.

452	452	
575	524	+ 72
480	520	+ 68
530	509	+ 57
480	501	+ 49
504	494	+ 42
478	489	+ 37
490	485	+ 33
476	482	+ 30
482	480	+ 28
474	477	+ 25
476	475	+ 23
472	474	+ 22
⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 80 bis 945 g vermehrt.

Versuch Nr. 11.

471	471	
410	435	— 36
453	435	— 36
427	438	— 33
450	440	— 31
437	442	— 29
449	444	— 27
443	445	— 26
449	447	— 24
446	447	— 24
449	488	— 23
451	450	— 21
⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 945 bis 80 g vermindert.

Versuch Nr. 12.

451	451		
559	514	+ 63	+ 36
406	470	+ 19	+ 32
507	465	+ 14	+ 24
432	463	+ 12	+ 18
482	461	+ 10	+ 13
444	460	+ 9	+ 10
469	459	+ 8	+ 7
450	458	+ 7	+ 6
462	457	+ 6	+ 2
453	457	+ 6	+ 2
458	456	+ 5	+ 2
⋮	⋮	⋮	⋮

Die Spannung wurde von 80 durch 945 bis 80 g variirt.

Um den Raum nicht zu stark in Anspruch zu nehmen, wollen wir uns mit den angeführten Versuchen begnügen. Im Allgemeinen zeichnen sich die Versuche mit Kautschuk vor denjenigen mit Muskeln durch ihre Regelmässigkeit aus, wesshalb auch die angeführten als für uns hinreichend angesehen werden können. Sie stehen mit den Joule'schen Versuchen in der vollkommensten Uebereinstimmung und müssen daher unser Vertrauen in die angewandte Methode vermehren. Dass die vierte Spalte in den Controlversuchen nicht mit der dritten übereinstimmt, wenn die Spannung höhere Werthe erreicht, glauben wir davon ableiten zu müssen, dass verschiedene Grade secundärer Dehnung von der längeren oder kürzeren Zeit, während welcher das Kautschuk gespannt gehalten wird, nothwendig erzeugt werden.

Der Umstand, dass diese Versuche, von uns hier Controlversuche genannt, wobei das Kautschuk am Ende des Versuches dieselbe Spannung wie am Anfang hat, immer, wenn die Spannung eine gewisse Grösse erreicht, einen positiven Ausschlag geben, welcher eine Erwärmung des Kautschuks zu erkennen gibt, hat uns veranlasst, noch einen Controlversuch zu machen, der darin besteht, dass wir denselben mehrere Male nacheinander wiederholt haben. Die Folge ist die erwartete gewesen, ein Ausschlag nämlich, der eine fortgehende Erwärmung angibt, die die Scala bald aus dem Gesichtsfelde des Tubus brachte. Woher stammt die dazu nöthige Wärmemenge? Sie ist ein Theil der Arbeit, die zur Spannung des Kautschukbandes verwandt worden, welche Arbeit das Kautschuk bei seiner elastischen Zusammenziehung zufolge der secundären Dehnung nicht vollständig wiedergeben kann. Der Unterschied tritt da in der Form von Wärme auf, die in erster Linie die Temperatur des Kautschuks erhöht. Diese Temperatursteigerung bei wiederholten Dehnungen kann wie bekannt einen so hohen Grad erreichen, dass sie sogar von unserem Temperatursinn aufgefasst werden kann, z. B. dadurch, dass man vor und nach den Dehnungen das Kautschukstück mit den Lippen berührt.

Unsern Plan, die in oben stehenden und ähnlichen Versuchen gefundenen Ziffern anzuwenden, um die Methode mit dem Thomson-schen Gesetze zu prüfen, mussten wir aus mehreren Gründen aufgeben.

Dazu gehörte nämlich die Bestimmung der Wärmecapacität des angewandten Kautschuks nebst dessen Volumveränderung bei verschiedenem Grade von Dehnung. Wenn auch schon der genauen Ausführung der vorigen Bestimmung einige Schwierigkeiten begegnen, so zeigte sich dagegen die zweite unsere Kräfte völlig übersteigend, wenigstens bei den uns zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln. Einen Trost nach unsern ziemlich energischen Versuchen in dieser Richtung fanden wir in den Aeusserungen Joule's über dergleichen Bestimmungen, von welchen er ausdrücklich sagt, dass sie zu den allerschwierigsten und delicatesten gehören, die man je vornehmen kann. Er begnügt sich daher damit, das Resultat von zwei Versuchserien anzuführen, die er ausgeführt und von welchen er sich berechtigt glaubt, den Schluss zu ziehen, dass das Volumen des Kautschuks abnimmt, wenn es bis zu einem gewissen Grade ausgedehnt wird. Unsere Erfahrung über dergleichen Untersuchungen, sowie die Aeusserungen von Joule, haben uns auch davon ganz abgeschreckt, selbst einige Versuche zu machen, um eine Veränderung des Muskelvolumens bei der Contraction zu constatiren [1]).

Besonders lehrreich ist der Vergleich zwischen den Resultaten unserer Versuche und denjenigen Edlund's mit Dehnung von Metalldrähten. Er hat Folgendes gezeigt:

„Wenn ein Metall innerhalb der sog. Elasticitätsgrenzen gedehnt wird, so erkaltet es. Die Abkühlung ist in diesem Falle proportional mit der mechanischen Kraft, wodurch die Ausdehnung verursacht wird.

Wenn sich hierauf das Metall zu seinem ursprünglichen Volumen wieder zusammenzieht und dabei eine ebenso grosse mechanische äussere Arbeit verrichtet, als die, welche bei dessen Ausdehnung verloren ging, so erwärmt sich das Metall ebenso viel, als es sich im ersteren Fall abgekühlt hat. Diese Erwärmung ist also ebenfalls proportional

1) Dies dürfte vielleicht als eine Ausflucht erscheinen, da die Versuche, die man gemacht, um auszuforschen, ob die Muskeln bei ihrer Contraction ihr Volumen verändern, von den respectiven Experimentatoren nicht als sehr schwer auszuführen bezeichnet worden sind. Ohne den einen oder andern der Experimentatoren zu kritisiren, wollen wir nur daran erinnern, dass, ungeachtet aller Versuche, diese Frage noch nicht definitiv abgethan ist.

mit der Kraft, womit das Metall vor der Zusammenziehung gestreckt gehalten wurde.

Wenn dagegen das gestreckte Metall sich zu seinem ursprünglichen Volumen zusammenzieht, ohne bei der Zusammenziehung eine äussere mechanische Arbeit zu verrichten, so erwärmt sich dasselbe mehr, als im ersteren Falle. Der Unterschied zwischen beiden Erwärmungen ist proportional mit der äussern mechanischen Arbeit, welche das Metall während der Zusammenziehung in dem einen Falle verrichtet.

Aus diesen Sätzen folgt, dass, wenn ein Metall innerhalb der sog. Elasticitätsgrenzen von einem Volumen V_0 in ein anderes V_1 übergeht, die dabei entstehende Veränderung in dem Wärmegrade des Metalles nicht ausschliesslich von dem ursprünglichen (V_0) und dem schliesslichen (V_1) Volumen oder deren Verhältniss zu einander abhängig ist, sondern im wesentlichen Grade von der Art, auf welche dieser Uebergang bewerkstelligt worden ist." [1])

Dies gilt, wie gesagt, nur so lange als die Längendehnung sich zwischen der Elastitätsgrenze hält. Ist dagegen die Streckung stark genug, um eine dauernde Verlängerung nachzulassen, so wird auch der Metalldraht bei der Spannung erwärmt. Weiter mögen wir uns erinnern, dass die Verlängerungen der Metalldrähte proportional den dazu angewandten Kräften sind, so dass wir mit gleichem Rechte sagen können: Die Wärmebindung bei der Streckung ist der Verlängerung proportional und vice versa. Es scheint uns auch nicht unmöglich, dass sowohl Muskeln als Kautschuk demselben Gesetze unterliegen wie die Metalldrähte, dass sie also bei der Dehnung abgekühlt und bei elastischer Verkürzung erwärmt werden, proportional mit der primären Verlängerung und Verkürzung, bei secundärer Verlängerung aber erwärmt und bei secundärer Verkürzung abgekühlt werden. Die Abkühlung, welche vulkanisirter Kautschuk bei schwacher Dehnung zeigt, spricht u. a. für dieses Verhalten. Ohne speciell darauf gerichtete Experimente kann jedoch diese Frage kaum abgemacht werden. Vielleicht ist es uns einmal gegönnt, unsere Untersuchungen auch auf dieses Gebiet auszudehnen.

---

1) Poggendorf's Annalen 1861 S. 37 ff.

III.

Wir wenden uns nun zu den Versuchen, die unsere Aufmerksamkeit auf die in der ersten Abtheilung berührten Verhältnisse gelenkt haben.

Versuche vom 13. Januar 1881.

Das Präparat bestand aus einem doppelten *gastrocnemius* einer *rana esculenta*. Mit einem durch ein Loch im Boden der feuchten Kammer gehenden Drahte wurde das Präparat mit dem Hebel eines Fick'schen Arbeitsammlers in Verbindung gesetzt. Die beiden Enden des Präparats waren mittels Leitungsdrähten mit der secundären Rolle eines Inductionsapparates vereinigt worden, so dass man durch Schliessungsinductionsschläge das Präparat reizen konnte. Die Oeffnungsinductionsschläge wurden abgeblendet. Diese Schliessungsinductionsschläge riefen eine ungefähr 5 Scalentheile umfassende augenblickliche Deviation der Magnetnadel gegen die kleinen Zahlen hervor, was keinen anderen Nachtheil erzeugte, als dass die erste Oscillation davon ein wenig beeinflusst wurde, so dass die daraus berechnete, zuerst notirte Gleichgewichtslage bei diesen Versuchen hier nicht maassgebend ist. Auf die aus den folgenden Oscillationen berechneten Gleichgewichtslagen kann dies doch nicht den geringsten Einfluss gehabt haben. Der Hebel des Arbeitsammlers war zum Theil equilibrirt worden, und der Draht um seine Achse trug 200^g. Dadurch wird eine Spannung von 90^g den Muskeln zuertheilt, wenn die untere Sperreinrichtung des Arbeitsammlers abgeschraubt worden war. Auch bei den Versuchen, in welchen diese angekoppelt wurde, hielt man sie einen Augenblick vor dem Anfange des Versuches abgekoppelt, damit alle Versuche mit derselben Anfangsspannung beginnen.

Versuch Nr. 1.

545	545		1 Zuckung ohne Arbeit.
514	527	(+ 18)	
536	527	+ 18	
523	526	+ 17	
535	530	+ 15	
580	532	+ 13	
535	553	+ 12	
540	538	+ 7	
537	538	+ 7	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 2.

581	581		1 Zuckung mit Arbeit = 472^{gmm}.
603	594	(— 13)	
587	594	— 13	
595	592	— 11	
588	591	— 10	
592	590	— 9	
588	590	— 9	
589	589	— 8	
587	588	— 7	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3.

562	562		1 Zuckung mit Arbeit = 446 gmm.
587	577	(— 15)	
565	574	— 12	
578	573	— 11	
568	572	— 10	
573	571	— 9	
568	570	— 8	
570	569	— 7	
567	568	— 6	
568	568	— 6	
566	567	— 5	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4.

553	553		1 Zuckung ohne Arbeit (fallende Tendenz [1]).
530	540	(+ 13)	
547	540	+ 13	
536	541	+ 12	
542	540	+ 13	
538	540	+ 13	
539	539	+ 14	
536	537	+ 16	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 5.

340	340		1 Zuckung ohne Arbeit (fallende Tendenz [1]).
322	330	(+ 10)	
336	330	+ 10	
325	330	+ 10	
330	328	+ 12	
324	328	+ 12	
326	325	+ 12	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 6.

300	300		1 Zuckung mit Arbeit = 366 gmm (fallende Tendenz [1])
320	312	(— 12)	
299	317	+ 7	
310	305	— 5	
300	304	— 4	
303	302	— 2	
299	301	— 1	
⋮	⋮	⋮	

Versuche vom 15. Januar 1881.

Das Präparat bestand aus einem Doppelgastrocnemius einer *Rana temporaria* und wog 3,58 g. Die Belastung des Arbeitsammlers wurde in den verschiedenen Serien vaiirt. Die Anordnungen im Uebrigen wie im vorhergehenden Versuche.

Serie I. Die Belastung der Achse des Arbeitsammlers 300 g, wodurch die Spannung des Präparats 90 g wurde.

Versuch Nr. 1.

200	200		1 Zuckung ohne Arbeit (fallende Tendenz).
139	164	(+ 36)	
180	163	+ 37	
153	164	+ 36	
172	164	+ 36	
160	165	+ 35	
167	164	+ 36	
163	165	+ 35	
165	164	+ 30	
⋮	⋮	⋮	
169	169	+ 31	

1) Bezieht sich auf die Wanderungen der Magnetnadel während der Versuche.

Versuch Nr. 2.

169	169		1 Zuckung ohne Arbeit.
123	142	(+27)	
158	144	+25	
137	146	+23	
151	145	+24	
143	146	+32	
149	147	+22	
147	148	+21	
149	148	+21	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3a.

158	158		1 Zuckung mit Arbeit $= 409^{gmm}$.
213	190	(−32)	
155	179	−21	
187	174	−16	
165	174	−16	
178	173	−15	
169	173	−15	
174	172	−14	
169	171	−13	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3b.

153	153		Spannung[1]).
89	116	+37	
137	117	+36	
106	119	+34	
125	117	+36	
113	118	+35	
121	118	+35	
116	118	+35	
119	118	+35	
⋮	⋮	⋮	
129	129	+24	

Versuch Nr. 4a.

130	130		1 Zuckung mit Arbeit $= 409^{gmm}$.
187	163	(−33)	
129	153	−23	
161	148	−18	
139	148	−18	
153	147	−17	
143	147	−17	
151	148	−18	
145	147	−17	
148	147	−17	
145	146	−16	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4b.

132	132		Spannung[1]).
70	96	+36	
115	96	+36	
87	99	+33	
105	97	+35	
94	99	+33	
102	99	+33	
97	99	+33	
102	100	+32	
100	101	+31	
⋮	⋮	⋮	

Serie II. Die Belastung des Arbeitsammlers 500^g, wodurch die Spannung des Präparats 150^g betrug.

Versuch Nr. 1a.

113	113		1 Zuckung mit Arbeit $= 336^{gmm}$.
187	127	(−14)	
103	117	−4	
120	113	0	
109	114	−1	
117	113	0	
113	115	−2	
116	115	−2	
113	114	−1	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 1b.

111	111		Spannung[1]).
77	91	+20	
104	93	+18	
86	94	+17	
96	92	+19	
89	92	+19	
93	91	+20	
90	91	+20	
⋮	⋮	⋮	

1) Die untere Sperreinrichtung wurde losgeschraubt, so dass die Belastung plötzlich herabfiel und die Muskeln mit einer Schüttelung ausdehnte, wie nach einer gewöhnlichen Zuckung.

Versuch Nr. 2.

100	100		1 Zuckung ohne Arbeit.
67	81	(+ 19)	
91	81	+ 19	
77	83	+ 17	
88	83	+ 17	
83	85	+ 15	
87	85	+ 15	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3.

97	97		1 Zuckung ohne Arbeit.
66	79	(+ 18)	
89	79	+ 18	
75	81	+ 16	
86	81	+ 16	
81	83	+ 14	
87	85	+ 12	
84	85	+ 12	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4.

93	93		1 Zuckung mit Arbeit = 305^{gmm}.
120	109	(— 16)	
87	101	— 8	
104	97	— 4	
93	98	— 5	
101	98	— 5	
97	99	— 6	
101	99	— 6	
99	100	— 7	
⋮	⋮	⋮	

Serie III. Die Belastung des Arbeitsammlers 200^g, die Spannung des Präparats 80^g.

Versuch Nr. 1^a.

98	98		1 Zuckung mit Arbeit = 230^{gmm}.
140	123	(— 25)	
98	115	— 17	
120	111	— 13	
105	111	— 13	
115	111	— 13	
109	111	— 13	
113	111	— 13	
109	111	— 13	
111	120	— 12	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 1^b.

101	101		Spannung.
58	76	+ 25	
89	76	+ 25	
68	77	+ 24	
80	75	+ 26	
72	75	+ 26	
77	75	+ 26	
74	75	+ 26	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 2.

82	82		1 Zuckung ohne Arbeit.
52	64	(+ 18)	
78	65	+ 17	
60	65	+ 17	
70	66	+ 16	
64	66	+ 16	
69	67	+ 15	
66	67	+ 15	
69	68	+ 14	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 3.

80	80		1 Zuckung ohne Arbeit.
53	64	(+ 16)	
76	66	+ 14	
62	68	+ 12	
73	68	+ 12	
68	70	+ 10	
73	71	+ 9	
71	72	+ 8	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4a.

82	82		1 Zuckung mit Arbeit = ? [1]).
120	104	(— 22)	
84	99	— 17	
105	97	— 15	
91	97	— 15	
100	96	— 14	
94	97	— 15	
98	96	— 14	
95	96	— 14	
⋮	⋮	⋮	

Versuch Nr. 4b.

96	96		Spannung.
57	73	+ 23	
86	74	+ 22	
68	73	+ 23	
80	75	+ 21	
72	75	+ 21	
78	76	+ 20	
74	76	+ 20	
⋮	⋮	⋮	

Um die Uebersicht zu erleichtern, wollen wir diese Versuche in einer Tabelle zusammenstellen, wo wir die aus der zweiten Oscillation berechnete Gleichgewichtslage als Maass der Temperaturwechslungen anwenden.

	Arbeit	Spannung	Ausschlag
Versuche vom 13. Januar 1881	0	90	+ 18
	472	90	— 13
	446	90	— 12
	0	90	+ 13
	0	90	+ 10
	356	90	— 7

	Arbeit	Spannung	Ausschlag
Versuche vom 15. Januar 1881	0	90	+ 37
	0	90	+ 25
	409	90	— 21
	409	90	— 23
	366	150	— 4
	0	150	+ 19
	0	150	+ 18
	305	150	— 8
	230	80	— 17
	0	80	+ 17
	0	80	+ 14
	?	80	— 17

1) Die Grösse der Arbeit nicht notirt.

Durchmustern wir zuerst die erste Versuchsserie. Bei den Versuchen 1, 4 und 5 war die untere Sperreinrichtung des Arbeitsammlers abgeschraubt worden, so dass die Muskeln nach beendigter Zuckung dieselbe Spannung hatten wie am Anfang der Zuckung und das Gewicht zu derselben Grösse wie am Anfang des Versuches herabgesunken war. Keine äussere mechanische Arbeit war also ausgeführt worden. Die ganze Arbeit, die die Muskeln bei ihrer Contraction verrichtet hatten, indem sie den Hebel und das Rad des Arbeitsammlers in Bewegung setzten und das Gewicht auf Kosten der chemischen Spannkräfte, die in den Muskeln angesammelt waren, erhoben, diese ganze Arbeit wurde wieder, als das Gewicht zurücksank, rückgängig und musste bei der von uns vorgenommenen Anordnung im Präparate in der Form von Wärme wiedergefunden werden. Auch gibt die Bussole an, dass die Temperatur des Präparats gewachsen ist.

In den Versuchen 2, 3 und 6 dagegen liess ich die untere Sperreinrichtung des Arbeitsammlers functioniren. Am Ende der Zuckung fiel das Gewicht also nicht zu der Höhe zurück, die es am Anfang der Zuckung innehatte, sondern es blieb ein wenig erhoben. Hier war also eine positive mechanische Arbeit verrichtet worden. Sehen wir nun nach, wie es sich mit der Wärmeerzeugung verhält, die man gewohnt ist als eine natürliche und stetige Begleiterin jeder Muskelzuckung zu betrachten, so begegnet uns die überraschende Entdeckung, dass sie hier ausgeblieben zu sein scheint, ja dass die Muskeln nach der Zuckung sogar kälter geworden als vorher. Wie soll man dies erklären? Vielleicht beruht alles auf einem verhängnissvollen Versehen, einem Fehler in der Anordnung der Versuche. Dies war in der That unsere eigene Ueberzeugung, als das Phänomen uns zum ersten Male gerade in der oben angeführten ersten Versuchsserie begegnete, die übrigens als keine Musterserie gelten kann in Anbetracht der schnellen Wanderung, die die Nulllage der Magnetnadel während der Zeit der drei letzten Versuche vornimmt, einer Wanderung, über deren Ursache in unserem Protokolle nichts notirt worden ist. Die folgenden Versuche, die wir um das fragliche Phänomen zu controliren und näher zu studiren angestellt haben, haben uns gezeigt, dass die Abkühlung der Muskeln

in der That keine Folge einer fehlerhaften Versuchsanordnung sein kann, sondern dass die Ausschläge der Bussole wahrscheinlich eine wenigstens ebenso treue Abspiegelung der Temperaturveränderungen des Muskels während der hier gegebenen Verhältnisse wie während anderer Versuche der hierher gehörigen Art sind. Hie und da finden wir auch in der Literatur Andeutungen davon, dass auch Andere bei ihren Experimenten solche „paradoxe" Ausschläge beobachtet haben. So z. B. scheint es uns wahrscheinlich, dass die „negativen Wärmeschwankungen" von Solger[1]) mit diesem Phänomen zu schaffen haben, und Danilewsky[2]) sagt ausdrücklich, dass er dieses Phänomen beobachtet und sogar zum Gegenstand besonderer Versuche gemacht habe, aus denen hervorgeht, dass die Abkühlung sich besonders dann zeigte, wenn der Muskel schwach belastet war. Gleichfalls fanden auch Meyerstein und Thiry[3]), dass die negative Wärmefluctuation sich am grössten zeigte, wenn die Belastung klein war.

Nichts liegt näher als die Vermuthung, dass diese Abkühlung des Muskels einem Umsatz der Wärme des Muskels in Arbeit nach der Mayer'schen Hypothese zuzuschreiben ist. Da es von teleologischem Gesichtspunkte aus wünschenswerth erscheint, dass der Muskel so sparsam wie möglich arbeitet, so kann nichts zweckmässiger sein, als ihn alle die bei der Reizung freigemachten chemischen Spannkräfte und dazu einen Theil seiner eigenen Wärme in Arbeit umsetzen zu lassen. Kann man länger bezweifeln, dass Wärme zu Arbeit im Muskel umgesetzt wird? Keine andere Erklärung scheint uns denkbar, vorausgesetzt nämlich, dass wir annehmen, dass der Muskel bei der Dehnung nicht erwärmt und bei elastischer Zusammenziehung nicht abgekühlt wird. Da nun eine derartige Annahme sich als unhaltbar erwiesen hat, müssen wir noch an eine andere Erklärung denken und zusehen, ob dieses Phänomen vielleicht mit der Weberschen Hypothese übereinstimmen möchte. Wir dürfen nicht vergessen, dass bei den hier besprochenen Versuchen der Muskel am Ende jedes Versuches eine geringere Spannung hat als am Anfang.

1) Studien des physiologischen Instituts zu Breslau Bd. 2 S. 125.

2) a. a. O.

3) a. a. O.

Schon aus diesem Grunde möchte man vermuthen, dass der Muskel bei seiner elastischen Zusammenziehung eine genügende Wärmemenge gebunden habe, um an Temperatur zu verlieren, ungeachtet eines kleineren Wärmezuschusses aus dem die Contraction hervorrufenden Stoffumsatze. Derart ist die Erklärung, die Danilewsky seinen oben besprochenen Versuchen beifügt. Und in der That, wir haben nichts dagegen einzuwenden; wir erinnern nur, dass dies von der Voraussetzung ausgeht, dass der arbeitende Muskel bei der Dehnung erwärmt und bei Zusammenziehung abgekühlt wird, ebenso wie der ruhende. Natürlich darf man nicht übersehen, dass der Weg, auf welchem der Muskel von dem einen zu dem anderen Spannungszustande gekommen ist, hier ein ganz anderer ist als derjenige, dem er bei den Dehnungsversuchen folgt; und wie wir schon erwiesen haben, ist es von wesentlicher Bedeutung für die Temperatur eines Körpers, auf welchem Wege er aus dem einen in den anderen Zustand übergeführt wird. Man kann ja einen Muskel von einer höheren zu einer niedrigeren Spannung überführen, z. B. entweder so, dass man die Spannung durch alle dazwischen liegenden Stadien allmählich vermindert, oder so, dass man sie unmittelbar von dem einen Spannungsgrade zu dem anderen übergehen lässt. Wenn dabei die Schlussspannung = 0 ist, so hat der Muskel im vorigen Falle eine äussere sowohl als eine innere Arbeit auf Kosten seiner innewohnenden Energie auszuführen, im letzteren Falle dagegen nur eine innere Arbeit. Diese innere Arbeit darf jedenfalls nur auf der Anfangs- und Schlussspannung beruhen und also in beiden Fällen dieselbe sein. Die Temperaturherabsetzung muss aber im vorigen Falle grösser sein. Keinem von diesen Wegen ist die Entlastung bei unsern Versuchen gefolgt.

Eine nähere Analyse des Weges, auf welchem der Muskel hier von seiner Anfangsspannung zu seiner Schlussspannung gekommen ist, ist daher für unser Problem von der grössten Bedeutung. Leider wurden die Experimente nicht unter solchen Verhältnissen ausgeführt, dass wir eine solche Analyse jetzt geben können. Auf dem Wege der Induction diese Frage zu lösen, hat sich auch als unmöglich erwiesen. Einige Versuche, die wir noch in den letzten Tagen gemacht, zeigten nämlich, dass der Weg, auf welchem der Muskel

bei einer Zuckung von der einen zur anderen Spannung übergeht, in so hohem Grade auf äusseren Umständen und auf der Individualität des Muskels beruht, dass jedes apriorisch construirte Schema verworfen werden muss. Belege erhärten diese Behauptung. Die Weise, auf welche wir dieselben gewonnen, ist die folgende.

Das vertical hängende Muskelpräparat wird mit dem oberen Ende an einen Seidenfaden befestigt, der um die Achse eines Schreibhebels geschlagen und an eine steife Spiralfeder gebunden worden. Die Achse des Schreibhebels ist horizontal und der ausserordentlich leichte Hebelarm bewegt sich um die Verticallage. An das untere Ende des Muskels ist ein berusstes Cartonblatt befestigt, das der Bewegungsebene des oben genannten Schreibehebels parallel hängt. Um diese Stellung zu schützen, ist der untere Rand des Cartonblattes mit dem unteren Ende eines leichten und steifen Hebels (des Steuerhebels) durch ein zweckmässiges Zwischenstück senkrecht gegen die Ebene des Blattes befestigt worden. Jeder Theil der Schreibeplatte muss also bei der Contraction des Muskels sich in verticaler Richtung bewegen, ebenso viel als das untere Ende des Muskels, während das obere fast unbeweglich bleibt. Die von dem Schreibehebel des Spannungsmessers auf diese Weise geschriebenen Curven beziehen sich daher auf ein Coordinatensystem, wo die verticale Ordinate die Längenvariationen des Muskels angibt und die bogenförmige Abscisse der Spannung proportional ist. Wir haben die Versuche damit eingeleitet, dass wir diese Abscisse aufgezeichnet, wobei wir in der Weise verfuhren, dass wir das untere Ende der Spiralfeder der Achse des Spannungsmessers näherten, während der Muskel nur mit der Schreibeplatte und dem dazu gehörigen Steuerhebel, zusammen nicht völlig 5g, belastet war. Wir haben also die Ordinaten ohne bedeutende Correction von der also aufgezeichneten Bogenlinie in vertialer Richtung und die Abscissen parallel mit dieser Linie zu rechnen. Nebenstehende Figuren zeigen nun einige von den Experimenten, die wir mit dieser Einrichtung gemacht [1]).

1) Diese Experimente sind im physiologischen Laboratorium zu Upsala im Januar 1885 gemacht worden.

Fig. 1 ist von einem doppelten *musculus gracilis* eines ungarischen Frosches aufgezeichnet worden. Der Punkt 0 entspricht der Länge und Spannung des Muskels bei der Belastung von 5^g. Die

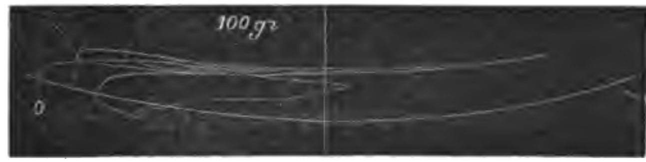


Fig. 1.

davon nach oben gehende Curve ist die Belastungscurve, die durch das Anhängen eines Gewichtes von 100^g an das äusserste Ende des Steuerhebels, also vertical unter dem Muskel, gezeichnet wurde. Als nun das Präparat durch einen Inductionsschlag direct gereizt wurde, wurde die complicirte Curve erzeugt, die Fig. 1 zeigt. Wie viel Arbeit der Muskel bei der Verkürzung verrichtet und wie viel er bei der Verlängerung absorbirt, dürfte schwer aus dieser Figur exact zu berechnen sein, zumal die eigenen Schwingungen der Spiralfeder ihre Wirkungen eingemengt und somit die Figur complicirt haben.



Fig. 2.

Allein approximativ den Unterschied zwischen der positiven und negativen Arbeit zu berechnen, das ist keine Schwierigkeit. Sie wird von der zwischen den beiden Curven eingeschlossenen Oberfläche repräsentirt. Bei dem Versuche, dessen Resultat in Fig. 2



Fig. 3.

dargestellt wird, ist dasselbe Präparat angewandt worden. Der einzige Unterschied ist der, dass das Gewicht von 100^g nicht unmittelbar an den Hebel befestigt wurde, sondern ein Stück Kautschuk den Zusammenhang vermittelte. Fig. 3[1] ist von einem mit

100g und dazwischen eingeschobenem Kautschukstreifen belasteten Doppelgastrocnemius geschrieben worden. Fig. 3² von demselben Präparat mit unmittelbarer Belastung und Fig. 3³ von denselben Muskeln mit derselben Belastung, aber mit dazwischen eingeschobenem

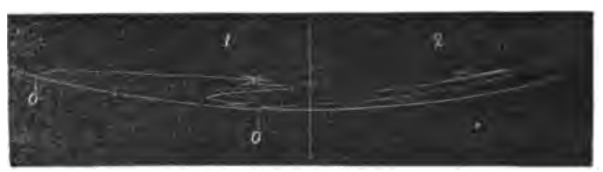


Fig. 4.

bedeutend steiferem Kautschukband. In der Figur 3³ sind die Zuckungen drei an Zahl, eine mit etwas schwächerer Reizung. Fig. 4¹ ist ebenfalls von einem Doppelgastrocnemius mit unmittelbarer Belastung von 100g gezeichnet worden. Fig. 4² ist in der Weise aufgenommen, dass das Gewicht von 100g durch einen Faden unmittelbar über dem unbelasteten Hebel schwebend gehalten wurde, wonach der Faden plötzlich abgeschnitten wurde, und das Gewicht somit auf den Hebel zu ruhen kam und den Muskel dehnte.

Diese Experimente lehren uns, wie unberechenbar die Arbeit ist, die der Muskel bei seiner Contraction verrichtet; sie lehren uns, weiter, dass nur unter ganz exceptionellen Verhältnissen der Muskel bei der Ausdehnung demselben Wege folgt wie bei der Zusammenziehung. Wir haben in Betreff des ruhenden Muskels (und des Kautschuks) schon gezeigt, welche Bedeutung dies für die Temperatur des Muskels (bezw. des Kautschuks) hat, und wir sehen keinen Grund, nicht anzunehmen, dass dieselben oder ähnliche Gesetze für die Dehnung des arbeitenden Muskels gälten wie für den ruhenden. Hat also der Muskel bei seiner Contraction mehr Arbeit verrichtet als bei seiner Wiederausdehnung, so sollen wir den Unterschied entweder in der Form mechanischer Arbeit oder in der Form einer äquivalenten Wärmemenge, oder theils in jener, theils in dieser Form wiederfinden. Ist die äusssere Arbeit = 0, wie bei einer gewöhnlichen Muskelzuckung, wobei der Muskel nachher dieselbe Länge und Spannung wie vorher hat, so sollte sich der ganze Unterschied als Wärme, bezw. Abkühlung zeigen, sei es innerhalb des Muskels, sei es in anderen Theilen des beweglichen Versuchsapparats. Be-

sonders sind die Temperaturverhältnisse der Kautschukbänder bei denjenigen Experimenten verdächtig, in welchen diese mit zum Apparat gehören.

Wir überlassen einer folgenden Arbeit die näheren Untersuchungen, zu welchen der Anfang hier gegeben worden ist. Das Angeführte ist doch schon genug, um uns zu erlauben, den allgemeinen Grundsatz auszusprechen, dass myothermische Versuche mit genauer Controle der Länge und Spannung des Muskels während des ganzen Verlaufs des Versuches ausgeführt werden müssen.

Was unser Hauptproblem betrifft, so kann es ja nicht verneint werden, dass Wärme bei der Contraction des Muskels gebunden wird, oder, wenn man das lieber will, in mechanische Arbeit umgesetzt wird, wenn auch dies nicht in der Weise geschieht, wie sich Mayer gedacht hatte. Auf der anderen Seite ist damit die Weber'sche Anschauungsweise nicht umgestossen worden, sondern die thermischen Verhältnisse bei der Muskelcontraction können sehr gut mit dieser Theorie übereinstimmen. Was erfordert wird, ist nur eine Hilfsannahme, dass nämlich der arbeitende Muskel bei der Dehnung abgekühlt wird, ebensowohl als dies bei dem ruhenden wahrscheinlich der Fall ist. Vielleicht müsste man auch annehmen, dass die Ueberführung des Muskels in den arbeitenden Zustand unter verschiedenen äusseren und inneren Verhältnissen mit grösserer und kleinerer Wärmeerzeugung geschieht.

Calorimetrische Untersuchungen.

Von

Dr. Max Rubner.

(Aus dem physiologischen Institute zu München.)

I.

1. Einleitung.

Während die Betrachtungen und Theorien der Ernährungslehre zum Theil nur dem Wechsel der Stoffe nachgehen und zwischen der Organisation und den Nahrungsstoffen als Ursache und Wirkung das Leben ablaufend sich denken, haben sie dem Wechsel der Kräfte nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt; dies mit einer gewissen Berechtigung, weil es in der That schien, als könnte der Kräftewechsel nur als eine unwesentliche Beigabe des Stoffwechsels — als ein nebensächlicher Process betrachtet werden. Bei dem häufigen Wärmeüberschusse und Wärmemangel, welche bei derartigen Anschauungen supponirt werden mussten, war naturgemäss dem Hautdrüsenapparat und Gefässapparat eine über Gebühr grosse Functionirung für die Erhöhung und Verminderung der thierischen Wärme zugeschrieben worden. Die bedeutenden Untersuchungen über den Einfluss der umgebenden Temperatur auf die Warmblüter, haben eine wesentliche Einschränkung der physikalischen Regulation herbeigeführt und das Hauptgewicht auf die chemische Regulation gelegt. Der Hautapparat ist also nicht im unumschränkten Dienste der Zellen, deren Willkür in der Zersetzung abgleichend, sondern im Gegentheil stehen die Zellen im Dienste des Wärme empfindenden Hautapparates.

Es zeigt sich in dieser Einrichtung bereits ein Grundgedanke, welcher nicht ganz einem freien Walten zwischen Zelle und Ernährungsmaterial entspricht. Denn die Regulirung der Zersetzung eines Thieres nach dem Wärmeverlust durch Abkühlung ist eine ganz ökonomische Einrichtung, während die ältere Anschauung mit einer zweckmässigen Verwendung des Wärmewerthes der Nahrungsstoffe nicht vereinbar schien.

Ich habe nun die Wirkung der einzelnen Nahrungsstoffe auf die Grösse der Verbrennung untersucht[1]) und gefunden, dass die frühere Anschauung über die Art der Wechselwirkung von Zelle und Nährstoff nicht richtig sein konnte, sondern dass bei einmal gegebenem Innervationszustande der Zellen auch nur die diesem Zustande entsprechende Wärmemenge producirt wurde, gleichgültig welcher Nahrungsstoff es war, welcher die Zellen umgab. Es war auch hier das gleiche Princip des ökonomischen Kraftverbrauchs zu Tage getreten, wie sich dasselbe auch schon bei der Wärmeregulation gezeigt hat, und es liess sich weiter zeigen, wie auch in der Entwicklung von grossen und kleinen Organismen kein anderes Gesetz zu Tage tritt, indem die Thiere, ob gross oder klein, eben den abkühlenden Verhältnissen gewachsen sind[2]).

Durch die eben angeführten Beobachtungen ist die Ernährungslehre in eine viel innigere und leichter verständliche Beziehung zur Wärmelehre getreten. Leider sind nun aber unsere Kenntnisse der Wärmebildung durch die ungenügenden Angaben des Wärmewerthes von Verbindungen, die in den Organismen zur Verbrennung gelangen, noch hintangehalten und den unmittelbar sich anknüpfenden Fragen fehlt noch die sichere experimentelle Grundlage, was theils auf Schuld ungenügender calorimetrischer Methoden, theils auf die Vernachlässigung des Studiums der Verbrennungswärme von Stoffen fällt, welche für die eben besprochenen Fragen von Wichtigkeit sind.

1) Rubner, Vertretungswerthe der organischen Nahrungsstoffe. Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 313 ff.

2) Rubner, Einfluss der Körpergrösse auf Stoff- und Kraftwechsel. Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 535.

Frankland[1]) hat bekanntlich zuerst mit einem von Lewis Thompson angegebenen Calorimeter die Verbrennungswärmen verschiedener für die Betrachtungen der Physiologie wichtiger Nahrungsstoffe und Nahrungsmittel bestimmt. Die gepulverten Substanzen wurden mit einer Mischung von chlorsaurem Kali und Braunstein verbrannt, also, wenn man so sagen darf, mit festem Sauerstoff. Frankland's Resultate sind für die Physiologie von wesentlicher Bedeutung gewesen, weil sich — um nur eines anzuführen — damit der exacte Nachweis erbringen liess, dass unter normalen Verhältnissen die Eiweisskörper unmöglich die einzige Quelle der Muskelkraft darstellen können. Ist nun auch diese Beweiskraft der Zahlen Frankland's immer geblieben, so sind doch gegen die von Frankland geübte Methode, namentlich von Stohmann, berechtigte Zweifel erhoben worden; derselbe Kritiker hat aber auch gezeigt, wie sich die Fehlerquellen vermeiden lassen und er hat damit eine für die meisten Untersuchungen völlig zuverlässige Methode mit ausgebaut.

Nur der Bestimmung der N-haltigen Stoffe, sowie jener, welche bei geringem Verbrennungswerth leicht flüchtig sind, stehen wesentliche Schwierigkeiten entgegen, und ist ein sicheres Gelingen, d. h. eine völlige Verbrennung, nur beim Einhalten bestimmter Regeln zu erreichen. Was die Bestimmung der N-haltigen Stoffe anlangt, so besteht ein Haupthinderniss darin, dass sie nicht glatt in CO_2, OH_2 und N zerfallen, sondern dass Oxydationsstufen des N mit gebildet werden, wovon man sich leicht an dem Geruche der das Calorimeterwasser durchsetzenden Gase nach Untersalpetersäure überzeugen kann.

Es sollen sich nun die Hindernisse für die Verbrennung flüchtiger Stoffe geringen Wärmewerthes und die Entstehung von Oxydationsstufen des N nach Stohmann[2]) vermeiden lassen, wenn man zur Substanz, welche verbrannt werden soll, Zusätze von Naphtalin, Anthrachinon, d. h. Stoffen hoher Verbrennungswärme, macht. v. Rechenberg[3]) hat später die gleichen Regeln angegeben und hinzugefügt,

1) Frankland, Phil. Mag. XXXII, 182.
2) Journal f. prakt. Chemie Bd. 19 S. 142.
3) Journal f. prakt. Chemie Bd. 22 S. 1 u. S. 244 ff.

dass auch die Zeit der Verbrennung durch geeigneten Zusatz von Bimsstein bis zu einem gewissen Grade verlängert werden muss. Die Zahlen der Versuche sind bis jetzt nicht veröffentlicht.

Bald nach diesen Versuchen ist aus dem Stohmann'schen Laboratorium[1]) eine Arbeit von B. Danilewsky hervorgegangen, in welcher die Verbrennungswärme von Fett, Eiweisskörpern und Harnstoff mitgetheilt war, wobei Danilewsky auch für N-haltige Körper wie schon vorher v. Rechenberg für N-freie zu wesentlich anderen Resultaten als Frankland gelangt war. Während z. B. Frankland (allerdings nur in einer Bestimmung) für Ochsenfett 9069 cal. pro 1 g angibt, theilt Danilewsky als Mittelwerth 9686 cal. mit. Für den Harnstoff fand Frankland 2206 (2121—2202), Danilewsky (2290—2688) im Mittel 2537 cal. Bei den Untersuchungen der Eiweisskörper sind von beiden Forschern verschiedene Körper benutzt worden, aber man erkennt gleichwohl mit vollster Bestimmtheit, dass Frankland's Zahlen niedriger sind als Danilewsky's Werthe. Diese Unterschiede der Werthe beider Forscher fanden aber eine Erklärung durch die Stohmann'sche Angabe, welche zeigte, wie leicht bei den Verbrennungen die Zerlegung der Mischung keine vollständige wird und dass man sich in jedem Falle besonders davon überzeugen müsse, ob sämmtliches chlorsaure Kali wirklich zerlegt worden sei, ein Umstand, der wie es scheint, von Frankland übersehen worden war.

Ich habe nun vor einiger Zeit in dieser Zeitschrift Versuche an Thieren über die Vertretungswerthe[2]) der einzelnen organischen Nahrungsstoffe im Thierkörper mitgetheilt, welche den Beweis brachten, dass bei der Erhaltung der thierischen Zelle die Nahrungsstoffe sich nach dem Vorrath an potentieller Energie, d. h. nach ihren Verbrennungswärmen vertreten. Als Verbrennungswerthe habe ich für die N-haltigen Stoffe und das Fett die Angaben B. Danilewsky's benutzt, für die übrigen N-freien Stoffe bin ich den Versuchen

1) Centralblatt der medicin. Wissenschaften 1881 S. 486 und Biol. Centralblatt Bd. 2 S. 374.

2) a. a. O.

v. Rechenberg gefolgt. Ganz genau zwar entsprachen meine isodynamen Werthe nicht den Verbrennungswerthen, sondern es zeigte sich, dass von Eiweiss und den Kohlehydraten immer etwas mehr als dem Verbrennungswerthe des im Hungerzustande zersetzten Fettes entspricht, verbrannt wurde. Diese Menge von Eiweiss und Kohlehydraten betrug bis zu 4,9%.

Bei der Geringfügigkeit des Unterschieds zwischen Theorie und Experiment habe ich anfangs kein weiteres Gewicht auf diese Differenz gelegt, nur meinte ich, da man das scheinbar Nächstliegende, eine den Gesammtstoffwechsel ändernde Wirkung der Nahrungsstoffe, nicht annehmen konnte, weil ausnahmslos eine Mehrung der Zersetzung durch Gaben von Wasser, Fett, Knochen und, wie ich indes noch dargethan habe, durch Fleischextracte ausblieb und andererseits nicht abzusehen war, wie denn der so leicht resorbirbare Rohrzucker Darmarbeit verursachen könne, es liesse sich vermuthen, der bei Eiweiss und Kohlehydratzufuhr vermehrte Kraftverbrauch vermöchte etwa durch die zur Ausscheidung der vermehrten CO_2 nöthige Athmungsthätigkeit zu erklären sein.

Ich habe mich nun aber namentlich bei genauer Durchsicht der calorimetrischen Angaben B. Danilewsky's überzeugt, dass Fehler auch auf Seite der calorimetrischen Angaben liegen können und dass die Bestimmung der Verbrennungsstoffe der hier in Frage kommenden Substanzen keineswegs zu einer den Anforderungen der Thierversuche entsprechenden Genauigkeit gediehen sind. Wenn nun allerdings von vornherein zugegeben werden muss, dass die von B. Danilewsky ausgeführten Verbrennungen Substanzen betreffen, welche zweifellos grössere Schwierigkeiten bieten als die Verbrennungen der N-freien Substanzen, welche vorzüglich v. Rechenberg und über welche er ausgezeichnete übereinstimmende Einzelbeobachtungen mittheilt, so konnten die gewaltigen Differenzen der Einzelbeobachtungen B. Danilewsky's nur ein Aufgeben der ganzen Methode herbeiführen. So findet z. B. Danilewsky beim Harnstoff Differenzen von 17%, bei den Eiweisskörpern z. B. dem

1) Rubner, Ueber den Einfluss der Extractivstoffe etc. Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 265.

Casein 5 %, bei Pepton 8 %, bei Fett 6 % Unterschied zwischen Minimum und Maximum. Abgesehen von den Zahlen für Harnstoff (2290—2268) könnte man sich bei den übrigen mit der Bildung einer Mittelzahl für einverstanden erklären, wenn eine grosse Anzahl von Versuchen ausgeführt worden wäre, was aber nicht zutrifft. Methodische Fehler bis zu 17 % müssten zu einem Aufgeben derartiger Untersuchungen führen. Selbst die ursprünglichen Zahlen Frankland's weichen nicht in dem Grade von einander ab wie die von Danilewsky. So differiren in vier Bestimmungen die Verbrennungswärmen von 1 g entfetteten Ochsenmuskels nur um 1 % ab; die Harnsäurewerthe in Maximum um 2 %, die Harnstoffwerthe um 8 %; sie stehen demnach in besserer Uebereinstimmung wie die von Danilewsky.

Die Zahlen des letzteren sind der Nachprüfung dringend bedürftig und können nur als Annäherungswerthe gelten. Wie ich anticipiren kann, erhält man auch für die N-haltigen Körper bei richtiger Verwendung der Methode ebenso gut mit einander übereinstimmende Werthe wie bei den N-freien. Ich habe mich bei der grossen Bedeutung, welche die Wärmewerthe der Nahrungsstoffe haben, selbst daran gemacht, die wichtigsten derselben zu untersuchen, namentlich aber galt mein Hauptaugenmerk der exacten Bestimmung des Verbrennungswerthes des Eiweisses in einem Organismus. Da die Spaltungsarten des Eiweisses bei verschiedenen Thierklassen verschiedene sind, so muss für die Zerlegung des Eiweisses bei Thieren, welche Harnstoff abspalten und bei solchen, welche Harnsäure bilden, eine eigene Untersuchung angestellt werden. Ich beschränke mich in Folgendem auf die im Körper des Fleischfressers ablaufenden Vorgänge.

Man ist dabei in der Regel nur so verfahren, dass man mit Benützung des Verbrennungswerthes einer Eiweissorte und der des Harnstoffs allen N aus Eiweiss sich als Harnstoff abtrennen liess und die Differenzen Eiweiss — Verbrennungswärme des Harnstoffs gleich der Wirkung des Eiweisses im Körper setzt. Ich habe schon früher auseinandergesetzt, dass diese Betrachtungsweise unrichtig ist. Denn bei der Zerlegung des Eiweisses im Thierkörper bilden sich zwei Abfallproducte:

1. ein specifischer Harn,
2. Reste der Verdauungssäfte, welche von der Art des Eiweisses abhängig sind.

Der Harn ist niemals — dies wird weiter unten zu erörtern sein — eine reine Harnstofflösung, sondern enthält noch wesentliche Mengen anderer Stoffe; es ist also unrichtig nur die Verbrennungswärme des Harnstoffs vom Eiweiss abzuziehen und es ist des weiteren falsch, den Koth[1]) ausser Rechnung zu lassen.

Beide Abfallstoffe müssen also in eigenen Versuchen bestimmt werden. Ueber diese Verhältnisse habe ich schon vor einiger Zeit Mittheilung gemacht, ebenso über die Methode, welche eingeschlagen werden muss, sowie über den Nachweis der N-Oxydationsprodukte[2]). Nach meiner Publication ist eine grössere Abhandlung Stohmann's[3]) erschienen, welche nur einige Berührungspunkte bietet, soweit es sich um Bestimmungen an den nämlichen Verbindungen handelt, dagegen nicht methodisch. Ich habe aber durch Stohmann's Publicationen eine wesentliche Verzögerung meiner Versuche erlitten, indem Stohmann die frühere Correctionzahl Rechenberg's verworfen hat, während ich meine Versuchsergebnisse mit Zugrundelegung der Zahl Rechenberg's berechnet hatte, sodass eine Umrechnung aller gewonnenen Daten nöthig wurde. Ich habe, übrigens die neueren Angaben Stohmann's, soweit es ohne bedeutende Umänderungen des Manuscripts möglich war, überall berücksichtigt.

2. Methodik.

Zu den Versuchen wurde ursprünglich der von Frankland aus London bezogene Apparat benutzt, doch in der Weise abgeändert, dass der Glascylinder, welcher das Calorimeterwasser aufzunehmen hatte, mit einer mehrfachen Hülle von Leinwand umgeben wurde. Aussen deckte eine Weissblechkapsel dieselbe. Um zu verhindern,

1) Ich hebe nochmals um jegliche Missverständnisse fern zu halten, hervor, dass ich unter Koth hier niemals unverdaute Speisetheile verstehe.

2) Sitzungsberichte d. bayer. Akademie v. 5. Juli 1884. — Rubner, Calorimetrische Untersuchungen.

3) Stohmann, Calorimetrische Untersuchungen. Landwirthschaftl. Jahrbücher Bd. 13 S. 513 ff.

dass etwa eine Durchnässung der die Wärme schlecht leitenden Hülle eintrete, wurde an dem oberen Rande der Weissblechkapsel eine 2 cm hohe Schicht von Paraffin eingegossen. Ein Deckel von Weissblech schützte vor einem Verlust an Calorimeterwasser, wie er namentlich bei etwas lebhaften Verbrennungen eintreten könnte. Die kupferne Taucherglocke ist bei vielen Versuchen beibehalten worden. Doch stand mir auch durch die Güte von Prof. Ernst Voit eine Taucherglocke aus Platin — wie sie Stohmann angegeben hat — zur Verfügung.

In einigen orientirenden Versuchen überzeugte ich mich, dass alle Einwände Stohmann's gegen die Frankland'sche Ausführung der Verbrennungen berechtigt sind. Die Kupferpatrone nimmt stets an den Verbrennungen Theil, eine Erscheinung, welche dem Beobachter allenfalls entgehen kann, wenn er die Verbrennung nicht ausserhalb des Calorimeters vorgenommen hat. Denn im Calorimeter blättert die Kruste von CuO beim Hinzutretenlassen von Wasser ab und kann das CuO sich im Calorimeterwasser vertheilen, so dass seine Gegenwart entweder übersehen oder die Grösse seiner Betheiligung an der Verbrennung unterschätzt werden kann.

Ebenso richtig ist Stohmann's zweiter Einwand gegen Frankland, dass derselbe nämlich zu prüfen unterlassen habe, ob bei jedem Versuche das entstandene Chlorkalium gelöst war. Man darf nämlich, wenn man einige Zeit nach der Vollendung eines Verbrennungsversuches das Calorimeterwasser gemischt hat, nicht von vornherein annehmen, dass sich das in Wasser leicht lösliche Chlorkalium auch wirklich aufgelöst habe. Namentlich bei erheblichen Zusätzen von Bimsstein tritt die Lösung des Chlorkaliums so langsam ein, dass Stunden darüber verziehen können. Die zu Beendigung des Versuches vorhandene Chlorkaliummenge muss jedesmal direct durch Titrirung festgestellt werden[1]). Da das Auslaugen des Chlorkaliums oft sehr lange währt, so habe ich, um das Calorimeter zu weiterem Gebrauche bereit zu haben, das Calorimeterwasser in ein Zuckerglas übergegossen, die festen Bimssteinschlacken in eine Reibschale gebracht und zerrieben, und nun mit dem Calori-

1) S. auch S. 263.

meterwasser die ganze Masse in das Zuckerglas übergespült. Nach 7 Stunden wurde die zweite Titrirung ausgeführt, welche den Beweis zu liefern hat, dass wirklich alles ClO_3K in ClK übergegangen ist. Unter Umständen verdampft eine erhebliche Menge von ClK.

Stohmann hat vorgeschlagen, die Substanzen anstatt in Kupferpatronen in solchen von Platin zu verbrennen. Diese Platinpatronen haben an geeigneten Stellen kleine Oeffnungen in der Wandung, welche vor dem Versuche mit Papierplättchen verklebt werden, sich sonach bei fortschreitender Verbrennung selbst öffnen und den Zweck haben, das Auflösen des Chlorkaliums durch Herstellung eines Wasserstromes durch die Platinpatrone zu erleichtern. Ich habe mich nun auch zu meinen ersten Versuchen einer derartigen Platinpatrone bedient; doch bin ich auf eine andere Art von Verbrennungshülsen aufmerksam geworden.

Zur Aufnahme des Verbrennungsgemisches kann nämlich recht gut ein dünner Glascylinder verwendet werden, dessen Länge beliebig durch Abschneiden mit einem Glasdiamanten je nach der Menge an Verbrennungsmischung, welche zur Verwendung kommt, geändert wird. Diese anscheinend recht zerbrechlichen Hülsen gewähren eine Reihe von Vortheilen, welche die Platinhülsen nicht besitzen. Zunächst gestatten sie wegen ihrer Durchsichtigkeit recht genau die Füllung mit Substanz zu überwachen. Ausserdem ist es sehr leicht, den Zündfaden einzusetzen und dessen Glimmen zu verfolgen, was bei den Platinhülsen in manchen Fällen geradezu unmöglich ist. Da man nämlich nur eine Grösse der Platinhülsen dem Calorimeter beigegeben findet, so muss dieselbe bei grösseren oder geringeren Mengen von Verbrennungsmischung bis zu wechselnder Höhe gefüllt werden. Sie war oftmals nur bis $^2/_3$ ihrer Höhe voll; es hat dann seine Schwierigkeit den Zündfaden einzusetzen, ihn anzuzünden und sein richtiges Abbrennen bis zu dem Momente, wo der Platincylinder in die Glocke eingesetzt werden soll, zu verfolgen. Diese Schwierigkeiten fallen bei dem Glascylinder weg, da derselbe für den jedesmaligen Gebrauch in geeigneter Weise zugeschnitten wird. Bei manchen Substanzen, namentlich bei reichlichem Bimssteinzusatz, kann man, falls ein Platincylinder verwendet wird,

oft bemerken, dass durch das Zusammenschmelzen des Bimssteins den entweichenden Gasen der Ausweg versperrt wird; dann erfolgt nach kurzem Stillestehen der Verbrennung plötzlich ein kräftiger Stoss, welcher nicht nur Bestandtheile der Verbrennungsmischung herausschleudert, sondern dieselbe geradezu unterbrechen kann. Lässt man dagegen die Verbrennung im Glascylinder vor sich gehen, so bemerkt man wie das Glas ebenso wie die Verbrennung fortschreitet, schmilzt. Die Form der Hülse wird also ganz erhalten.

Gibt es aber irgendwie Widerstände, so stockt die Verbrennung nicht, sondern die gespannten Gase bauchen das Glas aus, die Blase platzt und die Verbrennung geht ruhig weiter.

Bei dem Stohmann'schen Platincylinder vermitteln, wie oben schon gesagt, vier 3^{mm} weite Oeffnungen die leichtere Lösung des Chlorkaliums. Bei meinem Verfahren entstehen zahllose kleine Risse in dem Glascylinder, sobald das Wasser denselben berührt, und durch diese Risse kann das Wasser frei cirkuliren. In vielen Fällen zerfällt der Glascylinder in eine grosse Anzahl kleiner Stücke. Nach der Verbrennung kann man leicht erkennen, ob die Bestimmung im Wesentlichen gelungen ist. Soweit das Glas der Glühhitze ausgesetzt war, — also die Substanz verbrannt ist, besitzt es Sprünge und Risse; an Stellen, wo aber unverbrannte Substanz liegt, ist das Glas völlig intakt.

Die von mir verwendeten Glascylinder werden in einfacher Weise auf dem Boden des Mischers festgehalten. An dem Mischer befindet sich ein einfacher Ansatz, in den man sonst die Verbrennungscylinder zu stecken pflegt. In diesen Ansatz habe ich einen Ring aus Blech mit drei Zinken befestigt. Der Ring ist aufgeschnitten; auf ihn drückt seitlich eine Schraube, so dass seine Weite variirt werden kann, wie es eben die verschiedene Weite der gläsernen Verbrennungscylinder nöthig macht.

Die Zeit der Verbrennung wurde mit einer genau gehenden Secundenuhr gemessen. Mit dem Momente der Ablesung der Temperatur des Calorimeterwassers wurde dieselbe in Gang gesetzt. Die Zeit bis zum Beginn der Verbrennung der Mischung währte fast immer zwischen 60—70 Secunden. Die Zeit der Verbrennung

der letzteren wechselt natürlich mit der Art der Substanz. Von der Beendigung der Verbrennung bis zum Ablesen der Endtemperatur des Calorimeterwassers vergingen unter sorfältigem Mischen des ersteren drei Minuten. Ich habe bei vielen Untersuchungen gesehen, dass man auch bei 5 Minuten langem Mischen nicht alles Chlorkalium in Lösung bringt und habe daher vorgezogen, nur kurz zu mischen, weil dies Verfahren dann den Vortheil bringt, dass die Temperaturcorrection für die Strahlung um 40% kleiner wird.

Der Wasserwerth meines Calorimeters ist bereits gelegentlich der Bestimmung der Lösungswärme des Harnstoffes[1]) mitgetheilt worden. Ich kann hier hinzufügen, dass ich ausser diesem noch vielfach die Bestimmung des Wasserwerthes des Calorimeters wiederholt habe und dass diese Werthe mit ersteren in Einklang stehen. Ebenso wie der Wasserwerth ist auch die Correctionstabelle für die Strahlung schon angegeben worden. Der Wasserwerth des Calorimeters gilt nur für die zu manchen Bestimmungen verwendete kupferne Taucherglocke; ich habe aber auch eine solche Glocke von Platin verwendet. Für diese Fälle habe ich den ersteren einfach berechnet, was einwandslos geschehen kann, da die specifische Wärme von Kupfer und Platin bekannt ist: ich habe bei Bestimmungen mit der Platinglocke die Zahl 2157 zu Grunde gelegt (2000 ^{ccm} Wasserfüllung : 157 = Wasserwerth). Dieselben sind hier selbstredend andere als die von Rechenberg mitgetheilten, da sie abhängig sind von der Fütterung des Apparates mit schlechten Wärmeleitern, dem Wasserwerth und der Art der Bestrahlung durch den Beobachter.

Rechenberg[2]) erhielt z. B.

pro 2° Unterschied zwischen Luft und Calor. $t + 0{,}063°$,

mein Apparat gab

pro 2° Unterschied „ „ „ „ $+ 0{,}040°$.

Luft- wie Wasserthermometer waren gleicher Einrichtung und zwar umfassten dieselben, um die Theilung möglichst gross machen zu können, nur das Intervall von 13—22°; sie gestatteten noch

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 414.

2) a. a. O. S. 6.

0,005° abzulesen und wurden durch mehrmalige Abtrennung von Quecksilberfäden, welche die Länge von 0,8° hatten, calibrirt.

Die Art der Mittheilung der Versuchsergebnisse dürften leicht verständlich sein; T = Lufttemperatur; da dieselbe während eines Versuchs nicht ganz constant bleibt, so habe ich unter T die Mittelwerthe eingetragen. ta = Temperatur des Calorimeterwassers zu Beginn des Versuchs, tz = Endtemperatur; Str bedeutet die Correction für die Strahlung; ClK_1 die unmittelbar bei Beendigung des Versuchs gelöste Chlorkaliummenge, ClK_2 die nach vollkommener Lösung des Chlorkaliums bestimmte Grösse; w_1 den Bruttowerth an Wärme; w_2 den Wärmewerth nach Abzug der Lösungswärme des ungelöst gebliebenen Chlorkaliums; w_3 den Wärmewerth nach Abzug der Correctionszahl und der Verbrennungswärme der zugesetzten Stoffe, d. h. den Nettowerth der zu bestimmenden Substanz.

Die Grundlage für alle calorimetrischen Untersuchungen, welche mit Hülfe der Frankland'schen Methode ausgeführt werden, bildet die Richtigkeit der sogenannten Correctionszahl, d. h. der Werth für die Zersetzungswärme des ClO_3K und für die Lösungswärme des gebildeten ClK. Frankland[1]) hat dieselbe empirisch auf zwei Wegen bestimmt, 1. indem er eine Substanz im O-Strom verbrannte und indem er den gleichen Versuch mit chlorsaurem Kali ausführte; 2. indem er eine Substanz mit wechselnden Mengen von chlorsaurem Kali verbrannte.

Er kam dabei zur Zahl 516[2]).

Da die Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis sowie die Lösungswärme von ClK in Wasser bekannt sind, lässt sich dieselbe auch berechnen.

Nimmt man nach Thomsen[3]) die Bildungswärme von ClK + 3 O zu — 9770 cal. (! pro Molekül), so hat man für 13,3 g ClO_3K 1064,1 cal., und da 13,3 ClO_3K = 8,07 ClK und 1 g ClK = — 60,0 cal.[4]) Lösungswärme ist, in Summa also = 484,2 cal., so hat man als Correctionszahl 1064,1 — 484,2 = 580 cal.

1) a. a. O. S. 186.
2) Umgerechnet auf die von Stohmann und mir benützten 13,3 g ClO_3K.
3) S. Naumann, Handbuch der Thermochemie S. 450.
4) Nach Rechenberg, Journal für prakt. Chemie 1879.

Stohmann[1]) hat den Correctionswerth auch empirisch bestimmt und war dabei in seiner ersten Veröffentlichung auf die Zahl 602 Cal. gekommen. Der Ueberschuss gegenüber der Rechnung erklärt sich zur Genüge dadurch, dass Stohmann's Zahl auch die Correctur für die Papierplättchen und den Zündfaden enthielt.

Wesentlich abweichend von diesen drei Werthen ist Rechenberg's[2]) Zahl mit 490 Cal.; die aber durch zahlreiche und mit allen möglichen Cautelen ausgeführte Versuche gestützt erschien. In der neuesten Publication Stohmann's ist die Zahl Rechenberg's ganz verworfen worden, obschon der Fehler, welche die abweichenden Angaben des letzteren erklärt hätte, nicht gefunden wurde. Damit sind auch die Verbrennungswärmen von Rechenberg um etwa 5% zu hoch gefunden worden und unrichtig. Stohmann[3]) stellt nun die Zahl 634 als neuen Correctionswerth auf, welcher, wie man sieht, ziemlich nahe dem Werthe Frankland's, dem berechneten Werthe und den früheren Angaben Stohmann's steht. Denn indem die von letzterem verwendeten Papierplättchen 12—6^{mg} wiegen und 1^{g} Cellulose = 4146 cal.[4]) und der Rest der Zündschnur = 2,6^{mg} angegeben wird, hat man

für die Plättchen 52,24
" " Zündschnur 10,78
= 63,02 cal.

dem berechneten Correctionswerth hinzuzufügen; also

580
+ 63
= 643

demnach eine vollkommene Uebereinstimmung.

Ich habe daher den von Stohmann jüngst angegebenen Correctionswerth als Grundlage benützt. Da aber bei meinen Versuchen keine Papierplättchen zur Verwendung kamen, so konnte nur:

634
— 52
582 cal.

1) Journal f. prakt. Chemie Bd. 19 S. 139.
2) a. a. O. S. 19.
3) a. a. O. S. 585.
4) Nach Stohmann a. a. O. S. 580.

in Rechnung gesetzt werden. 48 Stück meiner Zündschnüre wogen 0,148 g. 1 Stück also ca. 3 mg, was keine weitere Aenderung bedingt.

Als Beweis einer vollständigen Verbrennung sieht man den Nachweis an, dass sich im Calorimeterwasser soviel an Chlorkalium befindet, als den verwendeten 13,3 g ClO_3K entspricht. Bei Entwicklung einer grösseren Wärmemenge verdampft ein nicht unerheblicher Theil des ClK. Man kann den Verdampfungsverlust ermitteln, wenn man einen Theil des Calorimeterwassers zur Trockne verdampft. Ist der Trockenrückstand gleich der durch Titrirung gefundenen ClK-Menge, so ist die Zersetzung complet. Dies Verfahren führt nur bei aschefreien Substanzen zum Ziel. Da bei meinen Versuchen oft sehr an Asche reiche Substanzen verbrannt werden mussten, habe ich folgende Modificationen eingeschlagen.

500—600 ccm Calorimeterwasser werden eingedampft, der Trockenrückstand in eine Schale mit Braunstein versetzt und sodann erhitzt, hierauf in Wasser auf 500—600 ccm gebracht und aufs neue titrirt. Ist die Zersetzung eine vollständige, so darf bei dieser erneuten Titrirung nicht mehr Cl gefunden werden als vor dem Glühen mit Mangan.

Um die Berechnung der Verbrennungsversuche möglichst zu vereinfachen, stellt man den Titer der Silberlösung so, dass 1 ccm Silberlösung, welche für 50 ccm Flüssigkeit verbraucht wird, gerade so viel ClK entspricht, dass für 2000 ccm 0,5 g zu rechnen sind. Nachdem man 50 ccm Calorimeterwasser weggenommen, setzt man neuerdings 50 ccm destillirtes Wasser hinzu. Die Hälfte der für 50 ccm verbrauchten Anzahl von Cubikcentimeter Silberlösung gibt dann in Gramm den Gehalt an ClK an, die Differenz zwischen dem unmittelbar nach der Verbrennung sowie nach 7—8 Stunden erhaltenem Werth gibt alsdann den Werth für das zu Ende des Versuches ungelöst gebliebene Chlorkalium an.

3. Bestimmung des Wärmewerthes der Zusatzstoffe.

Nicht alle Stoffe sind mit der aus chlorsaurem Kali und Braunstein bestehenden Verbrennungsmischung glatt zu verbrennen; viele geben unverbrennliche, manche ex-

plosive Gemenge, worauf von Stohmann und Rechenberg aufmerksam gemacht worden ist. Dagegen lassen sich mit Zuhülfenahme gut verbrennlicher Stoffe, sonst unverbrennliche ihrem Wärmewerthe nach bestimmen. Die explosiven werden durch Zusatz von Bimsstein, wie schon angegeben, zu einer gleichmässigen, langsamen Wärmeentwicklung gebracht. Fast alle jene Stoffe, welche für unsere Betrachtungen von Interesse sind, lassen sich nicht ohne Zusätze leicht verbrennlicher Stoffe verbrennen; auch ist die Zuhülfenahme von Zusätzen bei N-haltigen Stoffen wegen der sonst sehr reichlichen Dämpfe von N_2O_4 unvermeidlich. Manche Verbrennungsgemische geben eine ganz gleichheitlich ablaufende Verbrennung, dagegen ist die Anzündung mit einer gewissen Schwierigkeit verbunden; in diesen Fällen kann man leicht entzündliche Gemische obenauf als Zündmasse legen.

Die als Zusätze verwendeten Stoffe sind nur wenige. Am häufigsten kann Gebrauch von dem leichtbrennenden Rohrzucker gemacht werden, indem er sowohl als Zündmasse dient, bei manchen Stoffen aber, welche eine hochliegende Anzündungstemperatur haben, auch zur Fortleitung der Verbrennung durch die Masse hindurch verwendet werden kann.

Als Zusatz zu N-haltigen Körpern kann man den Rohrzucker nicht benützen. In diesen Fällen lassen sich am besten entweder Fette, oder Fettsäuren, oder Naphtalin verwenden. Es sind in den unten angeführten Versuchen 1. Rohrzucker, 2. Naphtalin, 3. Stearinsäure benützt worden.

1. Der Rohrzucker.

Als Zusatzstoffe können beliebige Substanzen verwendet werden; chemische Reinheit derselben ist nicht erforderlich, sofern nur der Wärmewerth dieser Stoffe durch eigene Versuche festgestellt wird. Der von mir verwendete Rohrzucker war käuflicher Hutzucker, beim Trocknen ergab er keinen Gewichtsverlust; er enthielt eine Spur von Asche und war frei von Dextrose. Die mit diesem Präparate erhaltenen Zahlen sind folgende:

Tabelle über den Rohrzucker.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Verbrannt an Rohrzucker	1g gibt cal.
16,0	14,573	17,905	3,332	−0,024	4,31	8,11	7259,1	7030,5	6448,5	1,601	4028
19,4	17,149	19,919	2,770	−0,060	6,52	8,11	5946,0	5850,0	5268,0	1,326	3973

Im Mittel wurde nach obiger Tabelle pro 1g trockenem Rohrzucker[1]) erhalten **4001 cal.** Stohmann hat für Candiszucker die Zahl 3959 angegeben[2]).

Ich kann hier nicht unterlassen noch einige Versuche über die zahlreichen Bestimmungen anzuknüpfen, welche mir anfangs bei Verwendung der Platinhülse zu Verlust gingen.

Da in diesen Fällen nur so viel an Chlorkalium im Calorimeterwasser nachweisbar ist, als chlorsaures Kali zersetzt worden ist, chlorsaures Kali und Substanz aber innig gemengt waren, so kann man aus der Menge des gebildeten ClK auch berechnen wie viel Substanz verbrannt ist. Ich habe in folgender Tabelle einige der Verbrennungen angeführt, welche in der Weise berechnet sind, dass die gefundene Wärmemenge in Beziehung zu der aus dem ClK gerechneten Substanzmenge gebracht wird.

Nr.	Es verbrannte von der angewendeten Substanz	pro 1g Rohrzucker cal.	
1	88,9%	4233	
2	90,9%	4130	
3	92,7%	3984	4018
4	93,5%	4069	
5	93,7%	3951	
6	94,1%	3918	
7	94,7%	4011	
8	95,4%	4089	
9	96,2%	4032	
10	96,9%	4089	

1) 0,989 Rohzucker wiegen nach 24 Stunden bei 90—100° Hitze 0,9885 = 99,9% Tr.

2) a. a. O. S. 551.

Die Versuche sind geordnet aufsteigend nach dem zur Verbrennung gelangten Procentsatz; nach Ausschluss der beiden ersten Versuche, welche bedeutend höhere Werthe als alle folgenden geben, erhält man pro 1g Rohrzucker **4018 cal.** Die einzelnen Werthe schwanken weit mehr als diejenigen, welche man sonst bei völlig gelungenen Verbrennungen erhält; das Minimum ist nämlich 3918 und das Maximum = 4089 = 4,3% Differenz. Der Fehler lag in diesen ersten missglückten Bestimmungen offenbar darin, dass die Substanzverbrennungsmischung nicht völlig abbrannte. Je grösser natürlich der unverbrannt gebliebene Procentsatz war, desto unbrauchbarer werden die Bestimmungen, weil alsdann die Lösungswärme der zu verbrennenden Substanz, sowie die des unzersetzten chlorsauren Kalis näher zu berücksichtigen wären. Es liegt mir sehr ferne der Verwendung unvollständiger Versuche irgendwie das Wort zu reden. Ich habe vielmehr in Folgendem stets fest gehalten nur Versuche anzuführen, welche eine völlige Zersetzung des chlorsauren Kalis zeigten. Allein es könnte doch in manchen Fällen erwünscht sein, eine Annäherungszahl zu erhalten; wenn z. B. nur wenig Substanz zu den Bestimmungen zu Gebote steht, und Fehlbestimmungen eingetreten sind. Zu einer Annäherungszahl genügt also auch die Verwendung einer incompleten Zersetzung.

Bei den folgenden Versuchen ist der Rohrzucker mit 4001 cal. pro 1g Substanz in Rechnung gekommen. Wenn Rohrzucker als Zündsatz zu benützen war, habe ich denselben nie ohne Bimssteinzusatz angewendet; es wurde stets 1g Oxydationsmischung mit 0,1g Rohrzucker und 0,2g Bimsstein gemengt. Bei Weglassung des Bimssteinzusatzes versagten einige Bestimmungen, indem auf die schnellere Verbrennung der Zündmasse, die langsamere der Substanz folgte, wodurch den Gasen Zeit gelassen war, sich abzukühlen und Wasser in die Taucherglocke gesaugt wurde.

2. Naphtalin.

Die Verbrennung vieler N-haltiger Körper war am besten mit Naphtalin zu reguliren. Das käufliche Naphtalin wurde ohne weiteres verwendet. Unter Zusatz von erheblichen Mengen Bimsstein wurde die Verbrennungsdauer in geeigneter Weise verlängert. Sie betrug in den einzelnen Fällen:

1. 45 Secunden
2. 47 „
3. 40 „
4. 40 „

Die Chlorkaliumdämpfe waren mächtig, weshalb der Nachweis der completen Zerlegung des chlorsauren Kalis durch Verdampfen des Calorimeterwassers zu erbringen war. Es waren 0,2—0,3 g ClK verdampft, wie man aus nebenstehender Tabelle ersehen kann.

Tabelle über das Naphtalin.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Verbrannten Naphtal.	1g Naphtalin gibt in cal.
16,5	14,762	18,580	3,818	—0,030	4,52	7,90	8311,9	8095,9	7514,9	0,768	9759
17,0	15,032	18,834	3,802	—0,031	4,73	7,90	8273,6	8070,6	7490,6	0,766	9778
18,5	15,893	19,694	3,801	—0,054	3,77	7,85	8220,0	7951	7371,0	0,755	9763
17,9	15,751	19,551	3,800	—0,068	3,88	7,85	8188,0	7924	7344,0	0,750	9792

Die Mittelzahl für das Naphtalin beträgt **9773 cal.** pro 1 g.

3. Die Stearinsäure.

Leider gelang es nicht eine grössere Menge von Stearinsäure zur Verbrennung zu bringen, alle Versuche 0,7—0,8 g zu verwenden misslangen. Ich habe alsdann die von Rechenberg verwendete Mischung Stearinsäure und Rohrzucker zu gleichen Theilen verwendet (0,5 : 0,5); die Verbrennung gelang auch nur bei Anwendung einer geeigneten Zündschicht.

Tabelle über die Stearinsäure.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Verbrannten Stearins.	1g Stearinsäure gibt cal.
18,7	17,265	20,553	3,288	—0,006	5,15	8,04	7200,7	7021,5	4242	0,435	9751
19,5	17,129	20,508	3,379	—0,047	5,70	8,03	7306,0	7161,0	4626	0,475	9740

Das Mittel der beiden Versuche gibt die Zahl **9745**; während Stohmann für Stearinsäure[1]) 9413 angibt; Favre und Silbermann[2]) haben bekanntlich 9716,5 gefunden. Stohmann erklärt die Differenz dadurch, dass Favre und Silbermann wahrscheinlich eine unreine Substanz verwendet hätten. Da es sich in meinem Falle auch um käufliches, vielleicht nicht ganz reines Material gehandelt hat, kann die gewonnene Zahl nicht zum Entscheid über den Wärmewerth der reinen Stearinsäure benützt werden.

4. Die Verbrennung N-haltiger Stoffe.

Frankland hat die Verbrennung der N-haltigen Körper vorgenommen, ohne dass er Regeln gegeben hat, wie bei derartigen Versuchen etwa anders verfahren werden solle, als bei den N-freien. Stohmann[3]) hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass bei den N-haltigen Stoffen keine glatte Zerlegung in CO_2, H_2O und N stattfinde, wenn sie im Frankland'schen Calorimeter verbrannt werden, sondern mehr oder minder reichlich die rothgefärbten Dämpfe der Untersalpetersäure entstehen. Auch Berthelot[4]) hat das Auftreten von N-Oxydationsproducten bei Bestimmung der Verbrennungswärme des NH_3 im O-Strome constatirt, und bei der Elementaranalyse N-haltiger Körper kann sie nur durch geeignete Vorsichtsmaassregeln vermieden werden. Im Calorimeterwasser findet sich dann Salpetersäure, welche bei Anwendung von in NO_3H löslichen Metallen auch eine Oxydation der Taucherglocke zur Folge haben kann. Es lässt sich aber wie Stohmann angegeben hat, die Bildung von N-Oxydationsproducten auf ein Minimum reduciren, wenn man durch geeignete Zusätze die Verbrennungstemperatur der Mischung höher legt, als dieses durch die zu untersuchende Substanz allein möglich wäre. Rechenberg reproducirte diese Regeln und fügte dann hinzu, dass die Verbrennung der Substanzen durch einen geeigneten Zusatz von Bimsstein zu verlangsamen sei. Nähere Mittheilungen sind bei der Ausführung meiner Versuche nicht vorgelegen.

1) a. a. O. S. 559.
2) Ann. de Chim. et de Phys. 1853 p. 439.
3) Journal f. prakt. Chemie Bd. 19 S. 142.
4) Compt. rur. 89 p. 882.

Die ersten Verbrennungsversuche mit N-haltigen Stoffen überzeugten mich von der Thatsache der mächtigen Entwicklung von N-Oxydationsproducten.

Ich habe nun zunächst die Menge der Oxydationsproducte zu bestimmen versucht. Welche Producte treten auf? Es ist nach der Natur der Verhältnisse bei dem Reichthum an Sauerstoff und bei der hohen Temperatur, welche in der Taucherglocke herrscht, zunächst nur an die Bildung von Untersalpetersäure zu denken. Bei ihrem Durchgange durch das Calorimeterwasser wird offenbar — in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Gasentwicklung — ein Theil absorbirt unter Bildung von NO_3H und NO_2H, deren relative Mengenverhältnisse sich nicht mit Bestimmtheit voraussagen lassen, da die Absorption in dem Apparate nicht überall unter den gleichen Bedingungen (Mengungsverhältnissen von Wasser und Untersalpetersäure) verläuft. Die in dem Wasser gelösten Säuren haben nun noch die weitere Unannehmlichkeit, dass bei Verwendung durch Säure oxydabler Metalle zur Herstellung der Taucherglocke letztere angegriffen wird. Dies trifft z. B. für die kupferne Taucherglocke zu; auch Manganoxyd kann durch die Säuren aufgelöst werden. Da man bei Verbrennung von N-haltigen Körpern die Untersalpetersäure deutlichst riecht, so wird also auch auf den sich verflüchtigenden Antheil der Untersalpetersäure Rücksicht zu nehmen sein.

Was nun zunächst die Bestimmung des im Wasser gelösten Antheils der N-Oxydationsproducte anlangt, so bin ich dabei in folgender Weise verfahren.

Vorversuche überzeugten mich von der Unzulänglichkeit der titrimetrischen Methoden der NO_3H-Bestimmung. Ich habe daher vorgezogen, zunächst die Gesammtmenge der N-Oxydationsproducte als NO festzustellen, und zwar benützte ich dem Wesen nach das Schlösing'sche[1]) Verfahren. 600—900 ccm des Calorimeterwassers wurden sofort nach der Verbrennung mit Barytwasser versetzt bis die Reaction eben alkalisch geworden war. Jeder Ueberschuss wurde vermieden; sodann ist

1) Zeitschr. f. analyl. Chemie Bd. 1 S. 38.

ohne vorherige Filtration in einer geeigneten Porzellanschale eingedampft. Die getrocknete Salzmischung wurde sodann mit dem Spatel abgelöst und in ein kleines 200 – 250 ccm fassendes Kölbchen gebracht; was sich mit dem Spatel nicht ablösen lässt, wird sorgfältig mit wenig Wasser nachgespült. Das Kölbchen wird alsdann mit einem durchbohrten Kautschukpfropfen, der ein Glasrohr mit langem Kautschukschlauch trägt, verschlossen. Das Ende des letzteren trägt ein kleines gebogenes Glasröhrchen. Nun bringt man die Flüssigkeit ins Kochen und entfernt damit die athmosphärische Luft aus dem Kölbchen. Man bringt später, *wenn der Raum O-frei geworden* ist, das gekrümmte Glasstück in eine *concentrirte* Lösung von Eisenchlorür in ClH, nimmt die Flamme unter dem Kölbchen weg und beschleunigt durch Anblasen des Kölbchens die Abkühlung. Die ClH-haltige Eisenchlorürlösung wird dann eingesogen und nun muss darauf geachtet werden, dass nicht etwa durch *rasche* Entwicklung von NO (aus NO_2H) die Flüssigkeit durch den Schlauch zurückgetrieben werde. Man klemmt ihn ab und beschleunigt die Abkühlung des Kölbchens. Ist genug Eisenchlorürlösung eingeflossen, so klemmt man den Schlauch ab und bringt ihn in verdünnte Salzsäure, lässt diese ansaugen und so den Schlauch auswaschen. Ist dies geschehen, so wird derselbe aufs neue geschlossen und das gekrümmte Glasröhrchen in die Oeffnung eines *Bunsen'schen Gasometers* hereingebracht. Derselbe enthält Quecksilber und nur wenig Wasser; ausserdem aber sind mehrere Kalistücke eingebracht worden. Nun lässt man Quecksilber in dem Kautschukschlauch ansaugen, vermeidet aber *sorgfältig*, dass etwas von dem ersteren ins Kölbchen herübergerissen werde. Erhitzt man nun, so macht sich alsbald positiver Druck bemerklich, das Quecksilber wird durch den Schlauch getrieben und die Gase (NO) sammeln sich im Bunsen'schen Gasometer. Das Kochen muss namentlich bei Aufsuchung kleiner Mengen von NO_3H oder NO_2H *lange Zeit und bis zu recht bedeutender Concentration* der Lösung vorgenommen werden. Ist alles Gas übergetrieben, so lässt man es erkalten und treibt es nachher in eine Messröhre über. Die Controlversuche, welche ich über die Zuverlässigkeit der Methode anstellte, waren sehr befriedigend. In einem Falle wurde angewendet

0,0372g NO_3H und nach dem eben beschriebenen Verfahren gefunden 0,0354g NO_3H.

In dieser Weise sind also NO_3H und NO_2H zusammen bestimmt worden. Die NO_2H ist direct durch Titrirung mit $Mn_2O_8K_2$ ausgewerthet worden, sonach ergibt also die Differenz zwischen dem ersten Werthe — dem Werthe für NO_2H den Werth der NO_3H. Der Titer für die NO_2H-Bestimmung wurde mittelst NO_2Ag empirisch gestellt. Bekanntlich ist die Methode wegen des langen Nachbleichens etwas unbequem. Ich habe daher in allen Fällen nach dem Ablauf zweier Stunden die Bestimmungen als beendet betrachtet. Es wäre nun direct fehlerhaft gewesen, wenn bei den Bestimmungen der N-Oxydationsproducte etwa nur Rücksicht auf diejenige Menge genommen worden wäre, welche sich im Calorimeterwasser gelöst befindet. Allerdings leitet man die Verbrennungen so, dass man keinen Geruch nach N_2O_4 wahrzunehmen glaubt, aber es bleibt doch vorerst die Frage festzustellen, in wie weit der Geruchssinn als Reagens auf die N_2O_4 gelten kann, d. h. ob man sich bei kaum bemerkbaren Geruch dahin entscheiden dürfe, dass die gebildete N_2O_4 wirklich sich insgesammt im Calorimeterwasser fände. Es war also zunächst der flüchtig gegangene Theil des N_2O_4 zu bestimmen. Ich verfuhr auf folgende Art. Als Material wurde Harnstoff gewählt, weil dieser nach allen bisher vorliegenden Daten zweifellos einer vollständigen Verbrennung die grössten Schwierigkeiten entgegen setzte. Eine bestimmte Menge wurde in später zu bezeichnender Weise verbrannt und die Menge der im Calorimeterwasser vorhandenen N-Oxydationsproducte in eben erörterter Weise bestimmt. Alsdann habe ich die gleiche Menge Harnstoff in ganz derselben Art in einem geschlossenen Raume verbrannt. Die Verbrennungshülse wurde in den von Rechenberg[1]) zu andern Bestimmungen schon verwendeten Mörser gebracht. Der Mörser, welcher einen oben leicht aufsetzbaren Deckel mit Gasleitungsrohr besitzt, war unter Wasser versenkt und konnten die Gase, welche bei der Verbrennung gebildet wurden, durch einen Schlauch in einen Kautschukbeutel

1) a. a. O. S. 245.

entweichen, der vorher mit etwas Barytwasser gefüllt worden war. Nach der Verbrennung wurde auch in den Mörser Barytlauge getrieben und unter Abhaltung der athmosphärischen Luft ordentlich durchgeschüttelt bis alle N_2O_4 absorbirt war. Sodann wurde das Barytwasser, welches sich im Kautschukbeutel und in dem Mörser befand, zusammen mit dem nöthigen Waschwasser nach vorheriger Neutralisation eingedampft und der Rückstand untersucht. Im Mittel aus je zwei Bestimmungen erhielt ich:

1. Im Calorimeter verbrannt: Gesammtmenge der NO_3H **0,367g**,
2. im Mörser „ „ „ „ „ „ **0,384g**.

Es ergibt sich daraus also ein kleines Uebergewicht von N-Oxydationsproducten auf Seite der Verbrennung im Mörser, nämlich:

$$\begin{array}{r} 0{,}384 \\ -\ 0{,}367 \\ \hline +\ 0{,}017 \end{array}$$

d. h. es erscheinen von 0,384g NO_3H 0,367 = 95,5% im Calorimeterwasser und nur 4,5% (0,017) sind mit den Chlorkaliumdämpfen entwichen. Diese Menge entzog sich fast völlig dem Geruche; man kann demnach mit Vernachlässigung unbedeutender Differenzen sagen, dass dann, wenn *die Verbrennung so geleitet wird, dass kein Geruch nach N_2O_4 auftritt, die Untersuchung des Calorimeterwassers allein, die Bestimmung der erzeugten Nitroverbindungen gestattet.* Ich habe diese Thatsache schon mitgetheilt[1]).

Ausser der NO_3H und NO_2H kommt unter Umständen noch ein weiteres Oxydationsproduct, das CuO, welches unter dem Einflusse der Säuren erzeugt wurde, in Betracht. Dasselbe wurde, wenn nöthig, in gewohnter Weise als CuO bestimmt.

Die Frage, ob man nun durch Zusätze N-freier Stoffe zu N-haltigen die Verbrennung wirklich so leiten könne, dass gar keine N-Oxydationsproducte auftreten, hat eine von mir selbst nicht erwartete Antwort erhalten. Ich habe nämlich auch bei N-freien Körpern, die von mir für die Aufsuchung von N-Oxydationsproducten angewendeten Methoden versucht und jedesmal constatiren können, *dass*

1) Sitzungsberichte der Akad. S. 371.

auch bei Verbrennung N-freier Körper Spuren von N-Oxydationsproducten auftreten (bis 7^{mg} NO_3H entsprechend). Dieses paradoxe Ergebniss findet seine Erklärung darin, dass eben ein guter Theil des atmosphärischen Stickstoffs, welcher sich in der Taucherglocke befindet und welcher namentlich in dem Pulver des Verbrennungsgemisches haftet, bei der Verbrennung in Verbindung mit dem O tritt und NO_3H und NO_2H bildet. Es können auch Spuren Kupfers zur Lösung kommen.

Damit ist also nun auch dargethan, dass man nie erwarten kann, in irgend welcher Weise die Bildung von N-Oxydationsproducten ganz zu vermeiden, wenn es auch ausser Frage liegt, dass keine Correctionen der erhaltenen Werthe dadurch zu veranlassen sind.

Da die Bildung der NO_3H und NO_2H (flüssig und gelöst), sowie die Bildung von $(NO_3)_2Cu$ etc. nicht calorisch neutral verläuft, so kann bei reichlicher Erzeugung der genannten Producte eine Correction der erhaltenen Zahlen aber nothwendig werden. Da nun, wie oben erwähnt, die Verflüchtigung der N_2O_4 in den untersuchten extremsten Fällen eine ganz unbedeutende ist, so wird eine Correction für dieselbe nicht angebracht werden müssen; es kommen also nur die in Wasser gelösten Oxydationsproducte in Betracht. Die Bildungs- und Verbrennungswärme dieser Verbindungen ist bekannt.

Die Verbrennungswärme wird zu gross gefunden, wenn Cu durch NO_3H angegriffen wird. Folgendes wird der Ablauf eines derartigen Processes sein:

$$3\,Cu + 8\,NO_3H = 3\,[(NO_3)_2\,Cu] + 4\,H_2O + 2\,NO,$$

und darum die Wärmemenge, welche Kupfer bei der Oxydation mit NO_3H entwickelt[1]) und speciell bei einer obiger Gleichung entsprechenden Zersetzung, $w = (Q - 12000)$, wobei $Q =$ der Verbrennungswärme des Cu mit freiem O; obige Gleichung entspricht sonach

$$3\,w = +78870 \text{ cal.}$$

1) Naumann S. 423.

Es wird aber nicht nur CuO gebildet, sondern auch Cu-Salz, also:

$$[CuO + (NO_3H_2)_2].\ 3 = 15250 \times 3^{1)} = 45750 \text{ cal.}$$

Man hat sonach als Summe der Processe:

1. Oxydation	78870
2. Salzbildung	45750
	124620 = 3 Cu,

also 1 g durch Salpetersäure oxydirtes Kupfer unter Bildung von $(NO_3)_2Cu$ würde **656 cal.** liefern.

Die Bildung von NO_3H erfolgt unter den im Calorimeter verwirklichten Bedingungen nach folgender Gleichung:

$$N + \tfrac{5}{2}O + \tfrac{1}{2}H_2O = NO_3H^{2)},$$

und zwar unter ziemlich beträchtlicher Wärmebildung, demnach gleichsinnig mit der Oxydation des Kupfers. Man erhält:

$$w = + 14,300 \text{ cal.},$$

demnach 1 g = **+ 227 cal.**

In entgegengesetztem Sinn fällt aber die Bildung von NO_2H[3]), indem eine merkliche Wärmebindung mit ihrer Entstehung verknüpft ist.

$$N_2 + O_3 = N_2O_3 \text{ (gelöst) liefert } - 8400 \text{ cal.}$$

pro 1 g NO_2H sonach **— 89,3 cal.**

Bei allen complicirter als Harnstoff zusammengesetzten Körpern, selbst schon beim Harne, habe ich niemals mehr dieselbe grosse Menge von Oxydationsproducten auftreten sehen. Beim Koth oder den Eiweisskörpern war sie ausserordentlich gering. Nur dann kommen Störungen vor, wenn, etwa wie es beim Kothe eintreten kann, ungenügend zerkleinerte Haare beigemengt sind.

In manchen Fällen findet sich im Calorimeterwasser[4]) auch etwas Manganoxyd aufgelöst, wie man aus dem Auftreten eines

1) a. a. O. S. 490.
2) a. a. O. S. 432.
3) a. a. O. S. 432.
4) Die Mengenverhältnisse, in welchen Untersalpetersäure das Calorimeterwasser durchsetzt, sind in den nun mitgetheilten Werthen von Stohmann weit grösser als ich gefunden habe. Während ich 17 mg NO_3H als flüchtige N_2O_4 fand, wird gleichfalls für Harnstoff von Stohmann 63 mg NO_3H und mehr angegeben. Dagegen stimmen später die absoluten Zahlen für die Oxydation befriedigend. a. a. O. S. 546.

braunen Niederschlages bei Zusatz von Ammoniak bemerken kann. Wenn darauf geachtet wurde, dass alsbald nach vollendeter Verbrennung die Flüssigkeit mit NH_3 versetzt wurde, so trat keine Fällung auf[1]). Es scheint also erst nach längerer Zeit eine Lösung zu Stande zu kommen; da ich die Lösung nur in den Fällen fand, in welchen auch Säure gebildet wird, so muss wohl die letztere; also z. B. NO_3H oder SO_4H_2 (bei Eiweisskörpern), die Ursache der Lösung sein. Die Menge war in den untersuchten Fällen nur gering und betrug zwischen 0,040 und 0,060 g Mn bei einer Bestimmung, als die saure Flüssigkeit längere Zeit Gelegenheit hatte, Manganoxyd aufzulösen. Es sind nun zwar die Wärmewerthe für die Umsetzung der Manganverbindungen nicht so vollständig bekannt, dass man die Grösse der durch die Lösung von Mangan nöthigen Correctur exact angeben könnte; ich schätze aber, indem ich bei den Mangansalzen den Eisensalzen analoge Verhältnisse voraussetze, den calorischen Werth der Lösung von 0,060 g Mn zu + 13,2 cal. Diese Zahl muss, weil der Flüssigkeit lange Zeit zur Lösung des Mn gelassen wurde, weit überschätzt sein. Man wird daher wohl annehmen dürfen, dass eine Correctur der Wärmewerthe, welche der Lösung von Manganoxyd Rechnung trägt, ausser Betracht bleiben kann.

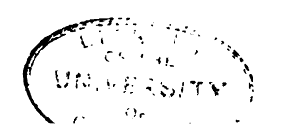
Stohmann[2]) hat neuestens auf eine andere Quelle der Bildung von Mangansalz aufmerksam gemacht; er nimmt an, dass bei der Verbrennung mit chlorsaurem Kali und Braunstein sich stets etwas Chlor entwickle und gleichzeitig Manganchlorür entstehe. Die Vermittlung bei der Reaction bildet die durch den Bimssteinzusatz immer reichlich vorhandenen Kieselsäure, so dass man hätte:

$$Mn_3O_4 + 8\,ClK + 4\,SiO_2 = 3\,MnCl_2 + 4\,SiO_3K_2 + 2\,Cl.$$

Die Menge des erzeugten Manganchlorürs nimmt zu mit der Höhe der bei der Verbrennung entstehenden Temperatur und zu mit der Menge des vorhandenen SiO_2.

Was die Mengenverhältnisse des im Calorimeterwasser vorhandenen NO_3H und NO_2H anlangt, so war dieselbe wechselnd. Es wird zwar angegeben, dass wenn N_2O_4

1) a. a. O. S. 373.
2) a. a. O. S. 542.



mit überschüssigem Wasser in Berührung komme, die Zerlegung der Gleichung

$$N_2O_4 + H_2O = NO_3H + NO_2H$$

entspräche.

Ich habe aus $(NO_3)_2Pb$ N_2O_4 entwickelt und dieselbe durch das Wasser des Calorimeters in raschem Strome, jedoch so, dass die aufsteigenden O-Blasen keinen Geruch nach N_2O_4 zeigten, geleitet. Im Wasser war enthalten

$$0{,}150^g\ NO_3H + 0{,}165\ NO_2H$$ [1]),

also im Verhältniss von $10\,NO_3H : 11\,NO_2H$. Dies entspricht der obigen Gleichung nicht, welche eine Relation von ungefähr 10 : 7 erfordert. Auch bei den Bestimmungen der Oxydationsproducte des N, bei den Verbrennungen der Substanzen ist, ausgenommen beim Harnstoff (0,277 NO_3H : 0,259 NO_2H), ein relatives Ueberwiegen des NO_2H gefunden worden.

Die Bestimmung eines den Fehler, der durch die N-Oxydationsproducte entsteht, eliminirenden Correctionswerthes hat sonach ins Auge zu fassen

1. die Menge der NO_3H,
2. die Menge der NO_2H,
3. das gelöste Kupfer,

bei Verwendung der Platinglocke aber nur die Menge der NO_3H und NO_2H.

5. Art des Versuchs zur Bestimmung des physiologischen Wärmewerthes von Eiweiss.

Zur Bestimmung des physiologischen Wärmewerthes der Eiweisskörper wird allenthalben recht summarisch so verfahren, dass man annimmt, es sei von der Verbrennungswärme der ersteren nur die auf Harnstoff und auf dessen Verbrennungswärme umgerechnete N-Menge des Eiweisses abzuziehen. Dies Verfahren ist ein vollkommen unzulässiges und ich werde beweisen, wie fehlerhaft dies Verfahren ist. Ich habe schon früher ausgesprochen, dass höchst wahrscheinlich neben Harnstoff noch andere

1) Dies Gemisch greift Cu innerhalb 3 Min. nicht merklich an.

N-haltige Zersetzungsproducte im Harn[1]) auftreten und dass weiters auch der Koth als ein unzweifelhaftes Spaltungsproduct[2]) N-haltiger Körper angesehen werden müsse.

Wenn ich nun zunächst auf das eine Abfallsproduct, den Harn, eingehe, so findet man, dass theils angenommen wird, der Harn sei als eine Harnstofflösung zu betrachten, andererseits aber wird auf die grosse Zahl von Verbindungen hingewiesen, welche nicht Harnstoff sind. Zweifellos ist es nun richtiger, das Augenmerk darauf zu lenken, den Harn nicht als Harnstofflösung zu betrachten, allein man hat in der Regel zu wenig aus einander gehalten, dass auch die Reichlichkeit der im Harn vorhandenen Eiweissspaltungsproducte, die nicht Harnstoff sind, überschätzt wird, indem übersehen wurde, dass es sich beim Fleischharn u. dgl. zum grossen Theil nur wieder um eine Ausscheidung der für den Organismus in gewisser Richtung werthlosen Extractivstoffe der Nahrung handelt. Hier musste also getrennt werden:

1. zwischen den Zersetzungsproducten des Eiweisses selbst,
2. zwischen den mit ausgeschiedenen Körpern, welche aus den in der Nahrung eingeführten Extractivstoffen herrühren[3]).

Fasst man also alles zusammen, so kann man sagen, dass eine genaue Angabe, welche Art von Stoffen sich im Harn nach Eiweissfütterung fände, nicht gemacht werden kann, dass aber höchst wahrscheinlich neben Harnstoff noch andere Stoffe vorkommen. In dieser Richtung ist besonders die von Voit aufgefundene Thatsache einer Kreatininabspaltung aus Eiweiss von Interesse.

Untersuchungen des Harns nach reiner Eiweissfütterung sind wohl nur wenige bislang ausgeführt worden; wohl vorzüglich deshalb, weil die Fütterung mit reinen Materialien kaum gelingt. Aber vorerst würde es genügen, extractivstoff-freie Mischungen zu geben. Eine derartige stellen die Fleischrückstände dar, welche nach der

---

1) Rubner, Ueber den Stoffverbrauch im hungernden Pflanzenfresser. Zeitschr. f. Biologie Bd. 17 S. 236 Anm. 2 1882.

2) Rubner, Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 344 Anm. 1 und S. 346—347.

3) Rubner, Vertretungswerthe S. 342 ff. und Ueber den Einfluss der Extractivstoffe etc. Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 265 ff.

Herstellung des Extractes bleiben; allein einerseits weigern sich die Hunde, dieselben in grösserer Menge aufzunehmen, andererseits ist das Material nicht gerade leicht verdaulich, wird vielmehr schlecht ausgenützt.

Nach einigem Ausprobiren ist es mir gelungen, eine brauchbare und leicht herstellbare Eiweissmischung zu finden; es ist dies mit Wasser völlig ausgelaugtes Muskelfleisch in frischem Zustande. Hunde nehmen dasselbe gierig auf und verzehren grosse Mengen von demselben. Die Ausnützung desselben ist eine ganz vollkommene. Diese Rückstände stellen also eine Mischung von Syntonin, Myosin und leimgebendem Gewebe dar, ein vorläufig vollkommen allen Ansprüchen genügendes Material.

Zur Darstellung desselben wird Fleisch zuerst mit Wasser von 35° angerührt und colirt, sodann mit wärmerem Wasser (bis 60°) mehrere Male ausgezogen. Den Process des Ausziehens kann man bei Anwendung einer hydraulischen Presse sehr erleichtern und schliesslich kann man diese Eiweisskuchen auf einen Trockengehalt von 30—35% bringen, indem man sie einige Zeit unter stärkerem Druck lässt. Bei kühler Temperatur hielt sich das Material lange Zeit unversehrt, geht aber allmählich selbst bei 0° in eine grauschmierige Masse über, anfänglich unter einem bemerkbaren Milchsäuregeruch.

Mit diesem Material habe ich nun Hunde längere Zeit gefüttert und betrachte den dabei erhaltenen Harn — als Eiweissharn. Man könnte zwar einwenden, dass etwa auch Extractivstoffe vom Körper des Thieres in den Harn hätten übergehen können. Dieser Einwand ist für eine längere Fütterungszeit ungültig und ausserdem findet die Abgabe von Extractivstoffen nur in sehr beschränktem Maasse und unter besonderen, hier nicht realisirten Bedingungen statt.

Kann man nun den nach Eiweissfütterung entleerten Harn wirklich als eine Harnstofflösung betrachten? Der Harn nach einer Fleischeiweissfütterung war heller als Fleischharn und sedimentirte nie. Ich habe den Harn in getrennten Portionen viermal des Tags aufgefangen, und zwar für die Zeit von 8 Uhr morgens bis 2 Uhr nachmittags, von 2 Uhr bis 8 Uhr nachmittags, von 8 Uhr abends

bis 2 Uhr morgens und von 2 Uhr bis 8 Uhr morgens. Zu jeder dieser Zeiten gab der Harn den Nachweis von Indoxylschwefelsäure und ebenso den Nachweis von Kreatinin. Ich muss hier nochmals anfügen, dass ich mich aufs bestimmteste von der Abwesenheit des Kreatins in dem zugeführten Eiweisse überzeugt habe. Die quantitative Bestimmung ergab bei einer täglichen N-Ausscheidung von 13,22 g

eine Kreatininmenge von 0,105 g,

indess der Hund im Hungerzustande etwa 0,221 g pro Tag entleerte. Ausser den beiden genannten Körpern fand ich noch Phenol oder Kresol und Kynurensäure in dem Harn. Letztere frei von jeder Spur von Harnsäure betrug

pro Tag 0,656 g.

Nach anderen Stoffen habe ich nicht gesucht. Es ist das aber schon eine ganz erkleckliche Anzahl von Körpern, und dieses Resultat, dass nicht allein Harnstoff im Harn nach Eiweissfütterung vorhanden sei, wurde auch bestätigt durch eine Reihe anderer Beobachtungen, von denen nur folgende hier angeführt seien.

Die organische Substanz des Harns nach Eiweissfütterung ergibt eine Zusammensetzung, welche von der des Harnstoffs wesentlich abweicht. Der Gehalt an N in derselben ist kleiner als er für den Harnstoff zu fordern ist (46,6%), dagegen ist der C-Gehalt des Harns merklich höher als der des Harnstoffs. Würde sich nur der letztere im Harn finden, so müsste N : C sich verhalten wie

1 N: 0,428 C,

man findet indess

$$1\ \text{N}: \left.\begin{matrix} 1.\ 0{,}505 \\ 2.\ 0{,}514 \\ 2.\ 0{,}550 \end{matrix}\right\}\ \text{Mittel } 0{,}523$$ [1]),

demnach immerhin ein Ueberschuss von C von 20%.

Es kann hier nur darauf hingewiesen werden, wie unrichtig die Behauptung ist, der Harn sei als Harnstofflösung zu bezeichnen. Dass aber der Harn bei reiner Fütterung von Eiweiss auch wiederum

1) Die hier angeführten Zahlen sind Mittelzahlen aus drei, verschiedenen Hunden entlehnten Harnen.

etwas wesentlich vom Fleischharne verschiedenes ist, das kann hier füglich nur angedeutet werden, da später auf diese Verhältnisse näher eingegangen werden soll.

Bei der Unkenntniss, welche wir über die genaue Zusammensetzung des Harns sowie über die Verbrennungswärme selbst bekannter, in demselben auftretenden Verbindungen haben, kann nur die directe Bestimmung der Verbrennungswärme des gesammten Harnes Aufschluss geben über den Kräfteverlust, welcher die Grösse des physiologischen Wärmewerthes der Eiweissstoffe und verwandter Körper mindert.

Es stellen sich nun aber der Bestimmung der Verbrennungswärme des Harns manche Schwierigkeiten entgegen. Bekanntlich lässt sich der letztere bei hoher Temperatur nicht eintrocknen, ohne eine mehr oder minder wesentliche Zersetzung von Harnstoff; dieser zerlegt sich und CO_2 und NH_3 entweichen; je länger man trocknet, um so grösser wird die Menge des zersetzten Harnstoffs. Es bliebe allerdings ein anderer Weg der Trocknung unter der Luftpumpe, obschon auch hier die Möglichkeit der Zersetzung keineswegs völlig ausgeschlossen ist. Auch der Zusatz von Säuren ist für mich, wenigstens zur Bestimmung des Verbrennungswerthes nicht einwandfrei. Deshalb habe ich mich entschlossen, den Harn direct auf Bimsstein einzutrocknen, ohne jedweden weiteren Zusatz; dabei wurde allerdings ein Theil des Harnstoffs zersetzt. Es musste daher Sorge getragen werden, diesen Theil möglichst sorgfältig zu bestimmen; man kann dies, wenn man die Menge des zur Trocknung mit Bimsstein verwendeten Harns kennt und nun eine kleinere Probe zu einer sorgfältigen quantitativen Trockenbestimmung verwendet.

Man weiss dann, wie viel die grosse Probe, auf Bimsstein getrocknet, hätte an Trockensubstanz liefern sollen gemäss der exacten Bestimmung der Trockensubstanz in einer kleinen Probe. Die Differenz in beiden Gewichten ist verursacht durch Zersetzung des Harnstoffs.

Die Trockenbestimmung des Harns wurde in folgender Weise ausgeführt. Eine abgemessene Menge wurde in eine Liebig'sche Ente

gebracht, welche zum Theil mit feinem Bimsstein (aber nicht allzu staubförmigem) gefüllt war. Durch die Ente strich ein mit concentrirter SO_4H_2 völlig wasserfrei [1]) gemachter Luftstrom und entführte das Wasser, dessen Verdampfen ausserdem durch Einsenken der Ente in ein Wasserbad begünstigt wurde. Der Luftstrom entführte natürlich auch CO_2 und NH_3, welche aus der beim Abdampfen unvermeidlichen Zersetzung des Harnstoffs entstanden waren, da aber die Luft noch durch ein Erlenmeyer'sches Kölbchen, welches titrirte SO_4H_2 enthielt, strich, so konnte dort das NH_3 völlig wieder abgefangen werden und aus der Aenderung im Titer die Menge des zersetzten Harnstoffs berechnet werden. Es wurden gewöhnlich 10—15 ccm Harn verwendet. Im Mittel wurde 14—17 Stunden im wasserfreien Luftstrom getrocknet. Nach Beendigung des Versuchs muss namentlich das Verbindungsrohr zwischen Ente und Erlenmeyer'schem Kölbchen sorgfältig mit Wasser ausgewaschen werden, da es $CO_3(NH_4)_2$ enthalten kann. Die Resultate, welche auf diese Weise erhalten werden, sind befriedigend.

Die Verbrennungswärme des Harns ist demnach aus zwei Componenten zu berechnen:

1. aus dem Wärmewerth der auf Bimsstein eingetrockneten Masse,
2. aus der Verbrennungswärme des Harnstoffs, welcher durch das Zersetzen der auf Bimsstein getrockneten Masse zu Verlust ging.

Es war also auch nöthig, die Verbrennungswärme des Harnstoffs zu bestimmen; wie dabei verfahren wurde, soll gleich näher besprochen werden.

Die bisherigen Berechnungen der Verbrennungswärme des Eiweisses haben nicht nur den Harn in ungenügender Weise berücksichtigt, sondern auch ein zweites Abfallsproduct des Eiweisses, den Koth, geradezu völlig ausser Acht gelassen [2]), und doch ist, wie ich früher schon schätzungsweise auszuführen versuchte, die Fehlerquelle keine kleine.

1) Die Luft trat durch einen 40 cm hohen, mit Bimsstein und conc. Schwefelsäure gefüllten Trockencylinder.

2) S. Vertretungswerthe S. 346.

Wie namentlich schon von Voit aufmerksam gemacht worden ist, stellt der Koth in manchen Fällen nicht etwa ein Gemisch von unverdaulich gebliebenen Stoffen dar, sondern ist als ein Stoffwechselproduct aufzufassen. Dieses letztere trifft beim Fleischfresser für das Fleisch oder die Eiweissstoffe des Fleisches zu; wie ich nachgewiesen habe, gilt dieses aber nicht für den Menschen[1]).

Es hat sonach die Bestimmung des physiologischen Wärmewerthes der Eiweissstoffe und verwandter Körper festzustellen

1. den Wärmewerth der verbrennenden Verbindung,
2. den Wärmewerth der Abfallstoffe, nämlich:
   a) den Wärmewerth des Harns { des auf Bimsstein getrockneten Theils und des zersetzten Harnstoffs,
   b) den Wärmewerth des Koths.

Da wir nun ausserdem niemals die Nahrungsstoffe wasserfrei geniessen, sondern gequollen, und da die Abfallstoffe gleichfalls im gelösten oder gequollenen Zustande den Körper verlassen, so sind auch die Veränderungen zu bestimmen, welche der Wärmewerth der betrachteten Stoffe beim Lösen[2]) oder Quellen erleidet.

Es ist also festzustellen:

1. die Wärmetönung der eiweissartigen Körper beim Quellen in Wasser,
2. die Wärmetönung beim Quellen des Kothes oder Lösen seiner Bestandtheile,
3. die Lösungswärme der Harnbestandtheile.

Die Wärmetönung beim Quellen des Eiweisses ist positiv, vielleicht auch die Quellung und Lösung der Kothbestandtheile; die Lösung der Harnbestandtheile — wenigstens die des Harnstoffs — verläuft unter bedeutender Wärmebindung, wie ich bereits experimentell dargethan habe.

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 15 S. 121.

2) Rubner, Ueber die Wärmebindung beim Lösen von Harnstoff im Wasser. Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 414 ff.

Die Zerlegungen der stickstoffhaltigen Körper im thierischen Organismus unterscheiden sich noch durch ein besonderes Verhalten von der Spaltung im Calorimeter. Bei fast allen Thieren treten bei der Durchwanderung des Darmes neben CO_2 und OH_2 andere Gase auf, H oder Grubengas. Die quantitativen und qualitativen Verhältnisse sind sehr verschieden und noch nicht genügend gekannt. Durch diese Processe wird der Wärmewerth der Stoffe etwas herabgesetzt. Wir kommen später auf diese Frage zurück.

6. Die Verbrennungswärme des Harnstoffs.

a) Auf trockenem Wege bestimmt.

Wegen des hohen Gehalts an N und der geringen Verbrennungswärme dieses Stoffs äussern sich alle Schwierigkeiten der Methodik in höherem Grade als bei allen übrigen Körpern und bis jetzt sind die Bestimmungen der Verbrennungswärme des Harnstoffs die mangelhaftesten gewesen. Schon die Frage der Zusatzstoffe, welche zu nehmen sind, ist von wesentlicher Bedeutung. Mit Zucker erhielt ich keine befriedigenden Resultate, indem die Entwicklung des N_2O_4 fast gerade so kräftig schien wie ohne jegliche Beigabe. Mit Fetten waren schon bessere Resultate zu erzielen und schliesslich habe ich, zwischen Naphtalin und Stearinsäure wählend, mich für die letztere entschieden.

Der von Kahlbaum als rein bezogene Harnstoff wurde bei 93 — 97° getrocknet und jedesmal eine der zum Trocknen gestellten Proben untersucht, ob keine Veränderung des Harnstoffs eingetreten sei.

Eine völlige Vermeidung der Bildung von N_2O_4 ist mir nicht gelungen, wenn auch, wie schon früher mitgetheilt wurde, durch den Geruch die Anwesenheit von N_2O_4 kaum zu erkennen war; es ist durch einen eigenen Versuch dargethan worden, dass man in der That die mit den Chlorkaliumdämpfen sich verflüchtigende N_2O_4 vernachlässigen könne. Die nachfolgende Tabelle enthält die Zahlen über die Verbrennungsversuche.

Tabelle über den Harnstoff.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Harnstoff verbrannt
17,3	16,312	20,326	4,014	+ 0,008	7,86	8,00	8824,3	8808,3	2575,7	0,9833
16,9	16,415	20,311	3,896	+ 0,018	7,93	8,00	8587,3	8576,3	2489,3	0,9488
17,3	14,934	18,814	3,880	— 0,011	7,46	8,00	8473,2	8433,2	2593,8	0,9731
16,9	15,835	19,576	3,741	+ 0,002	7,87	8,00	8212,0	8197,0	2535,0	0,9642

Aus ihnen kann aber unmittelbar die Verbrennungswärme für Harnstoff nicht abgeleitet werden, weil erst die Correction für die N-Oxydationsproducte und die Oxydation des Kupfers festzustellen ist. Im Mittel mehrerer Versuche habe ich erhalten:

0,077 Cu oxydirt = + 50,43 cal.
0,277 NO_3H = + 62,88 „
113,31 cal.

0,259 NO_2H = — 5,27 cal.,

demnach Wirkung aller Processe 113,31
— 5,27
= + 108,04 cal.

Da nun im Mittel bei meinen Versuchen an Wärme erhalten wurden 2548,4 cal., so ist die wahre Wärmeentwicklung

2548,4
— 108,0
2440,4 cal.

Die mittlere Substanzmenge betrug 0,9673 g Harnstoff, woraus sich also für 1 g Harnstoff berechnen 2523 cal.

Diese Zahl 2523 steht scheinbar in Einklang mit der von Danilewsky gefundenen = 2537[1]). Diese Uebereinstimmung ist aber eine ganz zufällige, insoferne sie dadurch herbeigeführt wird, dass Danilewsky die zweifellos zu verwerfende Zahl 2290 und 2404 mit in Rechnung gezogen hat. Wollte man aus seinen Bestimmungen überhaupt eine Mittelzahl nehmen, so käme man auf die Zahl

1) Centralblatt d. medicin. Wissenschaften 1881 S. 486.

2664 pro 1 g Harnstoff. Danilewsky bezweifelt allerdings später selbst seinen Werth 2537, weil seine Bestimmung technischer Schwierigkeiten wegen in diesem Falle auf Genauigkeit keinen Anspruch machen könnten [1]). Er glaubt dagegen den Werth 2200, den Frankland fand, oder den von L. Hermann berechneten Werth annehmen zu sollen. Es ist mir nicht recht ersichtlich, warum Franklands Werthe gerade beim Harnstoff tauglich sein sollten, bei anderen Substanzen aber nicht? Frankland hat 2121 — 2302 cal. für den Harnstoff angegeben. Stohmann hat pro 1 g 2465 cal. gefunden; mein Werth ist also höher wie der von Stohmann, die Differenz beträgt

$$\begin{array}{r} 2523 \\ -\ 2465 \\ \hline 58 \text{ cal.,} \end{array}$$

in Procent ausgedrückt beträgt die Differenz 2,3 %, bei den technischen Schwierigkeiten also eine unbedeutende Differenz. Die Uebereinstimmung der einzelnen Versuche ist gleichfalls befriedigend, indem Minimum und Maximum nur um 1,4 % differiren, in gleicher Weise differiren bei Stohmann [2]) beide um 1,5 %.

Es ist nicht ohne Interesse zu untersuchen, wie viel von dem Stickstoff des Harnstoffs als Oxydationsproduct auftritt. Im Mittel wurden 0,97 g Harnstoff verwendet, bei 46,6 % Stickstoff enthalten diese 0,452 g N. An Oxydationsproducten des N auf NO_3H gerechnet, habe ich im Ganzen erhalten 0,37 g NO_3H = 82,21 mg N; es sind demnach 18,1 % des Stickstoffs als Oxydationsproducte aufgetreten. Das ist immerhin ein sehr beträchtlicher Theil. Ich habe es nicht für günstig erachtet, kleinere Harnstoffmengen als 0,9 g zu verbrennnen, weil alsdann die Fehler der Methode schon sehr stark auf das Endresultat einwirken können.

Die Nichtbeachtung der Oxydationsproducte, sowie die Vernachlässigung des oxydirten Kupfers hätte die Verbrennungswärme des Harnstoffs zu gross finden lassen, und zwar ist das Mittel ohne Correctur = 2634, der corrigirte Werth = 2523, somit hat die Correctur den Werth um 4,2 % herabgedrückt.

1) Biol. Centralblatt Bd. 2 S. 375.
2) a. a. O. S. 577.

Stohmann[1]) hat die Bildung der Stickstoff-Oxydationsstufen bei Verbrennung N-haltiger Körper näher verfolgt und gefunden, dass dieselbe mit der Steigerung der Temperatur des Verbrennungsgemisches keineswegs ab-, sondern zunimmt, also z. B. reichlicher Zusatz von Stearinsäure die Menge des N_2O_4 etc. erhöht. Es liegt darin eine Bestätigung der von mir schon mitgetheilten Angaben[2]). In den angeführten Beispielen Stohmann's steigt durch Zugabe von Stearinsäure zu Harnstoff der Antheil des N, welcher oxydirt wird, von 27,4 auf 36,2 %. Es gibt natürlich auch ein Optimum des Mischungsverhältnisses zwischen Stearinsäure und Harnstoff, indem dabei relativ am wenigsten an N-Oxydationsproducten auftritt. Diesem dürften meine Zahlen nahe kommen. Ich habe im Mittel verwendet 0,97 g Harnstoff, 0,5009 g Stearinsäure und 0,116 g Rohrzucker, dabei wurden nur 18 % des Stickstoffs oxydirt. Unter den von Stohmann aufgeführten Versuchen entspricht nur einer ähnlichen Gewichtsverhältnissen, nämlich der auf Seite 546 mitgetheilte, bei welchem 1,000 g Harnstoff, 0,550 g Stearinsäure und 0,040 g Rohrzucker verbrannt wurden. Es fanden sich dabei 79 mg N in Form von Oxydationsproducten vor, sonach 16,9 % — was also recht befriedigend mit meinen Werthen übereinstimmt. Ueber diese Verhältnisse sind weiter unten noch ausführlichere Angaben gemacht worden.

b) Auf nassem Wege bestimmt.

Obschon die Uebereinstimmung der einzelnen Versuchswerthe bei Harnstoff eine befriedigende war und desgleichen der Correctionswerth für die Stickstoff-Oxydation etc. mit genügender Sicherheit eruirt war, so habe ich doch versucht, noch auf einem völlig anderen Wege Bestätigung, beziehungsweise eine Controle der beobachteten Wärmewerthe zu erhalten. Ich habe schon früher mitgetheilt, dass mir dies gelungen ist und dass die Verbrennungsmethode des Harnstoffs auf nassem Wege Werthe liefert, welche mit den im Frankland'schen Calorimeter gefundenen sehr wohl übereinstimmen[3]).

Bei Aufsuchung einer anderen Methodik bin ich von der bekannten und interessanten Thatsache aus-

1) Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. 13 S. 543.
2) Sitzungsberichte d. Akad. S. 872.
3) Sitzungsberichte d. Akad. S. 877.

gegangen, dass der Harnstoff sich mit unterbromigsaurem Natron in der Weise zerlegt, dass CO_2, OH_2 und N auftreten; das ist also, wenn man will, eine Verbrennung auf nassem Wege. Die Oxydation mit chlorsaurem Kali liefert die nämlichen Endproducte. Der einfachste Versuch überzeugte mich von der mächtigen Wärmeentwicklung, mit welcher diese Reaction verläuft und ich habe deshalb beschlossen, diese letztere genauer quantitativ zu verfolgen. Die Ableitung der Verbrennungswärme des Harnstoffs aus den bei diesen Versuchen gewonnenen Daten ist etwas complicirt, so dass ich mit einigen Worten die Verhältnisse etwas näher zu beleuchten für nöthig halte.

Die Zahlen der Verbrennung auf nassem Wege können nicht unmittelbar mit den Resultaten, welche auf trocknem Wege erhalten wurden, verglichen werden, da

1. bei der Zerlegung von Harnstoff durch unterbromigsaures Salz nicht nur die Verbrennungswärme des Harnstoffs frei wird, sondern auch noch ausserdem durch den Uebergang von BrOK in BrK Wärme entbunden werden muss. Diese Wärmemenge ist so bedeutend, dass sie nicht vernachlässigt werden kann. Sie lässt sich berechnen nach folgenden von Berthelot[1]) angegebenen Werthen:

$3\,Br_2$ (gasf.) $+ 3\,K_2O$ (verd.) $= 3\,BrOK + 3\,BrK$ (gelöst) $= +57600$
$3\,Br_2$ „ $+ 3\,K_2O$ „ $= 6\,BrK + 3\,O$ „ $= +74400$
demnach $3\,BrOK = 3\,BrK + 3\,O$ $= +16800$

woraus sich für O eine Wärmeentwicklung von 5600 cal. ergibt.

2. Die bei der Zerlegung des Harnstoffs freiwerdende CO_2 entweicht nicht gasförmig, wie bei dem Frankland'schen Calorimeter, sondern sie wird neutralisirt durch das in der Bromlauge überschüssig vorhandene Kali. Die entwickelte Wärmemenge erscheint sonach um die Neutralisationswärme der gasförmigen CO_2 zu hoch. Diese letztere ist von Thommsen[2]) genau bestimmt worden. Sie beträgt für 1 Molekül und folgende Gleichung:

Na_2O[3]) wässrig $+ CO_2$ (Gas) $= 26060$ cal.

---

1) Compt. rend. 1884 p. 739 s.

2) S. Thommsen, Journ. f. prakt. Chemie Bd. 21 S. 41.

3) In meinen Versuchen ist K_2O verwendet worden; wie vielfache Analogien darthun, kann der Werth für Na_2O dem für K_2O gleichgesetzt werden.

3. Zur Bestimmung der Verbrennungswärme des Harnstoffs auf nassem Wege sind Harnstofflösungen benützt worden. Da nun aber die Lösung des Harnstoffs in Wasser unter bedeutender Wärmeabsorption verläuft, so ist natürlich die Verbrennungswärme des gelösten Harnstoffs grösser als die des trocknen; es muss demnach die Lösungswärme des Harnstoffs bekannt sein.

4. Eine weitere Complication des Versuchs wird dadurch herbeigeführt, dass Harnstofflösungen fast niemals, namentlich nicht in so kurzer Zeit, wie es zu calorimetrischen Untersuchungen wünschenswerth ist, völlig durch BrOK zerlegt werden. Es ist daher nöthig, jedesmal auch die Menge des zersetzten Harnstoffs zu bestimmen, was am bequemsten durch Messung des entwickelten Stickgases geschehen kann.

5. Da die zur Zerlegung des Harnstoffs verwendete Bromlauge eine Salzlösung von ansehnlicher Concentration darstellt, ist ihre vom Wasser verschiedene specifische Wärme zu bestimmen. Ich habe, wie unten noch zu besprechen sein wird, in eigenen Versuchen letztere bestimmt.

Es sind in vorstehendem alle Differenzen zwischen den beiden calorimetrischen Methoden erörtert worden; wie aber auch aus dem Gesagten erhellt, sind alle Differenzen quantitativ bestimmbar und müssen daher die Resultate beider Methoden, auf gleiche Basis gebracht, mit einander übereinstimmen.

Was die Ausführung der Methode anlangt, so ist darüber folgendes zu bemerken.

Zur Bestimmung der Verbrennungswärme des Harnstoffs diente mir ein kleines Calorimeter, welches etwa 1200 ccm Innenraum hatte. Es war mit einer dicken Hülle von Leinwand versehen und ausserdem mit einem Zinkblechmantel umgeben worden. Der Hals der als Calorimeter verwendeten Flasche hatte einen doppelt durchbohrten Kautschukpfropfen; in der einen Oeffnung sass das Thermometer, welches ich sonst zur Bestimmung der *t* des Calorimeterwassers benützt hatte; in der Nähe des Calorimeters war wie sonst das Luftthermometer angebracht. Die zweite Oeffnung des Kautschukpfropfens enthielt ein Glasröhrchen, mit welchem ein Kautschukschlauch mit endständigem, gekrümmtem Glasröhrchen in Verbindung

stand; hier fand das entwickelte N-Gas seinen Ausweg. Das Stickgas wurde in einer Messröhre von 250 ccm Inhalt gesammelt. Das Calorimeter ist zu jedem Versuche mit 1000 ccm Bromlauge gefüllt worden.

Der Wasserwerth des kleinen Apparates wurde in folgendem bestimmt:

69,2	Mittel 73,2 cal.
56,5	
85,0	
92,4	
65,0	
72,9	
36,6	
83,6	

In ähnlicher Weise wie für das grosse Calorimeter ist eine Tabelle für den Einfluss der strahlenden Wärme gewonnen worden und wurde in gleicher Weise wie bei ersterem corrigirt. Die Bromlauge wurde, um einen Vorrath für Versuche zu haben, sehr concentrirt hergestellt. Die Lösung wird vor dem Lichte geschützt aufbewahrt. 100 ccm der concentrirten Lösung wurden für einen Versuch mit destillirtem Wasser von angemessener Temperatur verdünnt und ins Calorimeter eingeschüttet. Die specifische Wärme meiner (verdünnten) Lauge war durch umständliche und zeitraubende Versuche zu 0,9247 bestimmt worden. Das specifische Gewicht der Lauge war 1036,9. Es lässt sich aus diesen Daten der Wasserwerth einer Füllung leicht berechnen, denn man hat:

Lauge 1036,9 × 0,925	=	959,1
Wasserwerth des Apparates	=	73,2
15 ccm Harnstofflösung	=	15,0
Wasserwerth der ganzen Füllung	=	1047,3 g.

Ein Versuch verlief in der Regel in folgender Weise: Zunächst wird in ein Röhrchen aus feinem Glase die Harnstofflösung (gleicher Temperatur mit der Bromlauge) und zwar 15 ccm gebracht. Das Röhrchen hat einen Henkel, der mittels eines feinen Leinenfadens hergestellt wird. Nun wird die Temperatur der Bromlauge und die Lufttemperatur bestimmt und zu gleicher Zeit die Secundenuhr in Gang gesetzt. Man bringt alsdann mit einer Pincette das mit Harnstofflösung gefüllte Röhrchen ins Calorimeter; es schwimmt auf der Bromlauge. Jetzt schliesst man den Kautschukpfropfen und drückt

ihn so lange ein, bis Luft aus dem unter Wasser gehaltenen Ende des Gasleitungsrohres entweicht. Das gekrümmte Glasröhrchen wird unter die Messröhre geschoben. Damit ist auch die erste Minute völlig abgelaufen. Nun schüttelt man das Calorimeter sachte, wodurch Harnstofflösung und Bromlauge mit einander in Berührung gebracht werden. Die Hauptmenge des Gases hat sich innerhalb der ersten Minute entwickelt. Man wartet noch bis zu Ende der zweiten Minute (dritten Minute, vom Beginn des Versuchs) und liest nun die Endtemperatur ab.

Die entwickelte Gasmenge wird unter Wasser abgelesen und die gebildete Wärmemenge auf die aus dem Stickgas berechnete Harnstoffmenge bezogen. Von der Bromlauge darf nichts durch den Kautschukschlauch mit fortgerissen werden.

In der eben beschriebenen Art sind folgende Versuche ausgeführt worden.

Tabelle über den Harnstoff.

Nr.	*T*	*ta*	*tz*	*tz - ta*	Str	*w*	Gas bei 0° und 760 mm	Harnstoff verbrannt.	1 g Harnstoff liefert:
1	18,32	19,056	20,523	1,467	— 0,037	1497	174,31	0,468	3198
2	18,22	18,654	20,142	1,488	+ 0,005	1522	176,30	0,474	3210
3	18,22	17,599	19,186	1,587	— 0,075	1583	176,30	0,474	3341
4	16,61	16,355	17,860	1,505	— 0,068	1505	—	0,473	3182
5	16,91	17,324	18,955	1,631	— 0,048	1658	188,69	0,506	3276
6	19,37	16,188	17,959	1,771	— 0,141	1707	187,05	0,502	3406
7	19,13	18,329	20,045	1,716	— 0,157	1633	190,59	0,511	3195
8	19,13	16,097	17,879	1,782	— 0,112	1749	186,17	0,500	3498

Die Bezeichnung der einzelnen Stäbe ist nach früher Gesagtem leicht verständlich.

Die Uebereinstimmung der Werthe ist keine so völlige, wie die Frankland'sche Methode sie ergeben hat, was ich auf die Unvollkommenheit der Apparate, welche zweifellos sich meinen ersten Versuchen gegenüber verbessern lässt, zurückführe. Ein für diese Zwecke neu herzustellendes Calorimeter müsste eine leicht handbare Mischungsvorrichtung enthalten. Minimum und Maximum schwanken (3182 : 3498) um 9 %, mit Ausschliessung des letzten Werthes um 7 %. Allein die Anzahl der Versuche berechtigt zur Bildung einer Mittelzahl.

1 g Harnstoff gelöst liefert sonach **3288 cal.**

Der wahre Wärmewerth des Harnstoffs leitet sich aus folgenden Zahlen ab.

Ein Molekül Harnstoff braucht 3 O zur Verbrennung; 3 O aus BrOK liefern	+ 16800 cal.
es wird dabei ein Molekül CO_2 gebildet, dessen Neutralisationswärme gleich ist	+ 26060 cal.
ausserdem kommt die Lösungswärme des Harnstoffs in Betracht; sie beträgt nach meinen Bestimmungen[1])	+ 3668 cal.
für ein Molekül Harnstoff, also Summe =	+ 46528 cal.

Es sind demnach für ein Molekül Harnstoff 46528 cal. abzuziehen, wenn die auf nassem Wege gefundene Zahl auf trocknen Harnstoff mit Entwicklung gasförmiger CO_2 (= Frankland'sche Methode) zurückgeführt werden soll. Sonach ist für den pro 1 g Harnstoff gefundenen Werth 775,5 g abzuziehen.

Man erhält auf diese Weise:

$$\begin{array}{r} 3288 \\ -\ 775 \\ \hline \mathbf{2513\ cal.} \end{array}$$

Die Vergleichung der beiden Methoden ergibt also:

1. Verbrennungswärme des Harnstoffs auf trocknem Wege . . . . **2523 cal.**
2. Verbrennungswärme des Harnstoffs auf nassem Wege . . . . **2513 cal.**

1) Rubner, Ueber die Wärmebindung beim Lösen von Harnstoff in Wasser. Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 414.

Man kann also die Uebereinstimmung beider Methoden (0,4 %) eine vollkommene nennen.

Die Methode der Wärmebestimmung bei der Zerlegung von Harnstofflösungen mit Bromlauge kann auch umgekehrt zu einer Methodik der Harnstoffbestimmung verwendet werden, mit eben demselben Rechte und Vorbehalte, mit welchen zur Zeit die Gasentwicklung als Harnstoffbestimmungsmethode allenthalben in Gebrauch ist. Die thermische Bestimmung des Harnstoffs ist unendlich viel einfacher als die Gasmessungsmethode und innerhalb 3 Minuten ein Versuch vollkommen beendet.

Es wäre wünschenswerth, die für den Harnstoff gefundene Verbrennungswärme vergleichen zu können mit Stoffen, welche ihrer Constitution gemäss demselben nahestehen. Die Kenntniss solcher Körper ist aber eine äusserst dürftige. Zunächst könnte man an eine Vergleichung folgender Körper denken:

1. kohlensaures Ammoniak $CO_3N_2H_8$,
2. carbaminsaures Ammoniak $CO_2N_2H_6$,
3. Harnstoff $CO\ N_2H_4$.

Für das kohlensaure Ammoniak fehlen alle Vorbedingungen zur Berechnung. Für das carbaminsaure Ammoniak ist wenigstens die Bildungswärme bekannt.

$$CO_2 + 2(NH_3)^{1)} = +37700,$$

die Verbrennungswärme ist also:

$$2(NH_3)^{2)} = 2 \times 91{,}3 = 182{,}6$$
$$-\ 37{,}7$$
$$144{,}9,$$

sonach liefert 1 g carbaminsaures Ammoniak 1875 cal., der calorische Werth von 1 g O = 3,00 Cal. Da sich nun das carbaminsaure Ammoniak, wenn wir zunächst von der Anordnung der Atome im Molekül absehen wollen, vom Harnstoff nur durch einen Ueberschuss von H_2O unterscheidet und dieser Eintritt ins Molekül von

1) Lechner, Wiener Akad. Ber. Bd. 78 S. 711.

2) Vorausgesetzt, dass die Verbrennungswärme des NH_3 exact bestimmt ist.

keiner sehr tiefgreifenden Aenderung des Energieinhalts begleitet sein wird, so könnte man die Verbrennungswärme von 1 Molekül Harnstoff und 1 Molekül carbaminsaurem Ammoniak nahezu gleichsetzen.

Nun ergibt sich aus meinen Zahlen für 1 Molekül Harnstoff

151,38 Cal. (147,9 Stohmann),

für ein Molekül carbaminsaures Ammoniak aber

144,9 Cal.,

also rund um 4,3 % weniger. Diese Zahl beruht darauf, dass die Verbrennungswärme des Ammoniaks wirklich = 91,3 Cal. pro Molekül sei. Im Uebrigen darf man annehmen, dass dieses in der Rechnung sich ergebende Deficit möglicherweise durch den Eintritt von H_2O in die Gruppe des Harnstoffs bedingt sei, da bei derartigen Vorgängen sehr häufig Wärme frei wird.

Bei Harnstoff ist der calorische Werth des O = 3,15 cal., den eben vorgeführten Zahlen entsprechend also etwas mehr als beim carbaminsauren Ammoniak pro 1 g O frei würde.

Es ist auch die Bildungswärme von Oxamid[1]) und oxalsaurem Ammoniak bekannt. Beide stehen in ähnlicher Beziehung wie etwa $CO_3(NO_4)_2$ und CON_2H_4.

Aus der Verbrennungswärme von oxalsaurem Ammoniak = $(C_2O_4N_2H_8)$ ergibt sich 187,4 Cal. pro 1 Molekül; indes ein Molekül Oxamid $(C_2H_4N_2O_2)$ 183,1 Cal. liefert.

Da nun in diesem Falle das oxalsaure Ammoniak das Hydrat vorstellt, so wäre dieser Process der Hydratation (2 Mol. Wasser) unter Wärmeaufnahme erfolgt. Man erkennt sonach, dass die bisher vorliegenden Daten über die Verbrennungswärme von Körpern, welche dem Harnstoff nahestehen, kaum zum Vergleich herangezogen werden können.

Die von mir ausgeführte Bestimmung der Verbrennungswärme des Harnstoffs auf ganz getrennten Wegen wird genügen, die Richtigkeit der Zahlen zu verbürgen; auch der neuerdings von Stohmann gefundene, mit mir genügend übereinstimmende Werth wird zur Befestigung der Thatsache beitragen.

1) Berthelot, Compt. rend. 1880 vol. 90 p. 784.

Anmerkung. Es ist hier einer Verwendung der Methode zu gedenken, welche ihr schon Berthelot[1]) gegeben hatte. Derselbe liess Brom zunächst auf verdünnte Lauge einwirken und diese dann durch NH_3 zerlegen. Für diese beiden Acte erhielt er:

3 Br auf 3 Na_2O	= + 18,0
verdünntes Ammoniak auf das Hypobromit	= + 88,8
also Totaleffect des ganzen Processes	+ 106,8 Cal.

Daraus berechnet sich dann die Bildungswärme von Ammoniak in folgender Weise:

1. Bildung von 3 BrK, 3 (Br + H) + aqu = 3 BrH	= + 88,5
3 BrH verdünnt + 3 Na_2O verdünnt = 3 BrNa verdünnt + H_2O	= + 41,1
	= + 129,6
2. Bei der Bildung der gleichen Endproducte + N nach früherer Gleichung	+ 106,8.

Die Differenz ergibt also die Bildungswärme des gelösten Ammoniak zu + 21,6 Cal.

Diese Zahl stimmt mit der, welche Berthelot[2]) durch directe Verbrennung von NH_3 in freiem O erhalten hat, nämlich + 21,0 Cal., gut überein.

Ich habe nun gleichfalls Ammoniaklösung, wie ich oben für den Harnstoff beschrieben habe, in meinem Calorimeter auf Bromlauge unter gleichzeitiger Bestimmung des entwickelten Stickgases einwirken lassen.

Im Mittel von vier Bestimmungen habe ich für 0,235 g NH_3 1217 cal. erhalten, sonach pro 1 g NH_3 5136 cal. bezogen auf die wirklich angewendete Menge von Ammoniak[3]).

Das waren also pro 1 Molekül Ammoniak 87312 cal. Dieser Werth stimmt mit dem von Berthelot für den gleichen Vorgang gegebenen mit 88,800 Cal.[4]) genügend überein. Wie schon Berthelot sah und wie auch allgemein bekannt ist, zerfällt aber bei

1) Compt. rend. 1879 vol. 89 p. 879 s.
2) a. a. O. p. 882.
3) Die Lösung war mit SO_3 von bekanntem Gehalt titrirt worden.
4) a. a. O. p. 879.

dieser Reaction nicht alles Ammonik in H_2O und N, sondern ein Theil desselben bleibt unzersetzt. Bei Berthelot waren etwa 10 % der angewendeten Ammoniakmenge nicht zerlegt worden; in meinen Versuchen waren es sogar 12,5 %. Daraus erklärt sich auch mein um 1,7 % von der Berthelot'schen Angabe differirender Werth.

Man wird nun nicht wohl nach der Menge des angewendeten Ammoniaks den Verbrennungswerth desselben berechnen dürfen, sondern man wird wohl die Menge des zersetzten Ammoniaks, jene Menge, welche wirklich in die Reaction eintrat, zu Grunde legen müssen. Dadurch werden die Zahlen für die Verbrennungswärme des Ammoniaks bedeutend erhöht. Die anfängliche Uebereinstimmung zwischen der Bestimmung der Verbrennungswärme des NH_3, gemessen durch Verbrennung im O-Strome, und zwischen der Wechselwirkung von Brom, Natron und Ammoniak ist aufgehoben. Bezieht man die entwickelte Wärme auf die wirklich zersetzte Ammoniakmenge, so erhält man bei dem Hypobromit:

91,866 (pro 1 Mol. NH_3 gelöst)
90,251 nach Berthelot,

indess die Verbrennung im O-Strome nur 82900 cal. pro 1 Molekül ergibt. Minimum und Maximum differiren demnach um 10,8 %.

Was nun die Ursache der Verschiedenheit sein mag, lässt sich schwer sagen. Einerseits besteht Uebereinstimmung zwischen der Verbrennungswärme von Harnstoff auf trockenem wie auf nassem Wege, andererseits stimmen die in ähnlicher Weise für Ammoniak gefundenen Zahlen nicht mit einander überein.

Gegen die Methode der Bestimmung der Verbrennungswärme des Ammoniaks im O-Strome scheint kein Einwand zu bestehen, wenn nicht etwa die Bildung von Oxydationsproducten des N, welche flüchtig waren, in Betracht kommt. In dem Condensationswasser sollen sich nach Berthelot allerdings nur Spuren von solchen neben etwas Ammoniak vorfinden.

Die vorbereitenden Fragen für die Bestimmung des physiologischen Verbrennungswerthes der Eiweisskörper und verwandter Körper sind damit erledigt. Ich gehe dazu über, die Ergebnisse der Versuche selbst nun mitzutheilen.

7. Der physiologische Verbrennungswerth der in Wasser unlöslichen Eiweissstoffe des Muskels.

a) Die Verbrennungswärme der Eiweissstoffe.

Die Herstellung des Materials für diese Untersuchungen ist bereits früher hervorgehoben worden [1]). Die in der beschriebenen Weise erhaltenen Eiweissstoffe sind aber, ehe das Präparat zu den Bestimmungen der Verbrennungswärme verwendet wurde, noch weiter gereinigt worden.

Das Eiweiss wurde zunächst mit Alkohol überschichtet und dieser einige Male abgegossen, bis die Hauptmasse des Wassers der feuchten Eiweissstoffe entfernt war; sodann 14 Stunden auf dem Rückflusskühler gekocht und während dieser Zeit der Alkohol mit den gelössten Stoffen mehrmals abgegossen. Der Extract enthielt neben Farbstoff hauptsächlich Fett. Die Hauptmasse der Verunreinigung wurde auf diese Weise entfernt. Sodann wurde der Alkohol abdunsten lassen und dann weiters 12 Stunden mit Aether ausgekocht unter mehrmaliger Erneuerung und Abgiessen desselben.

Die Eiweisskörper hinterbleiben nun als eine völlig weisse papiermachéartige Masse. Die Zerkleinerung der letzteren bietet die allergrössten Schwierigkeiten, indem namentlich das leimgebende Gewebe dem Pulvern aufs hartnäckigste widersteht. Es wurde beim Pulverisiren öfters abgesiebt und der Rückstand durch Trocknen vom hygroskopischen Wasser befreit. Endlich gelang es, ein ausserordentlich feines, beim geringsten Neigen des Glases treibendes Pulver herzustellen.

Die Substanz ist nun fast völlig aschefrei; 100 Theile bei 110° trocken liefern nur 0,42 % einer leicht rein zu erhaltenden Asche. Die elementare Zusammensetzung des Pulvers stimmte fast ganz mit den Werthen überein, welche für Syntonin vorliegen.

---

1) s. S. 278. Der Verlust ist bei Herstellung der Eiweissstoffe aus dem Muskelfleische ziemlich bedeutend.

3500g	Fleisch	gaben	1510g	wasserhaltige	Eiweissstoffe	mit	31 %	Trockensubstanz	
3500g	"	"	1760g	"	"	"	31 %	"	"
3000g	"	"	1550g	"	"	"	29 %	"	"

Für Syntonin[1]) wird angegeben:

C	H	N	O
54,1	7,3	16,1	21,5;

mein Präparat bei 120° getrocknet gab:

C	H	N	O
54,7	6,7	16,6	22,0.

Zur Bestimmung der Verbrennungswärme wurde das Eiweiss mit Bimsstein und Naphtalin gemengt; in einzelnen Fällen ist Rohrzucker als Zündmasse verwendet worden.

Die Verbrennungen sind im Allgemeinen leicht auszuführen. Die Werthe der einzelnen Versuche sind in folgender Tabelle eingetragen.

Tabelle über die in Wasser unlöslichen Eiweissstoffe des Muskels.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Eiweiss verbrannt	1g Eiweiss liefert also cal.
18,0	15,186	20,415	5,229	—0,019	4,94	7,75	11430,7	11240,7	7873,7	1,372	5739
16,6	14,070	18,590	4,520	—0,025	4,84	7,75	9862,0	9665,2	7007,2	1,223	5729
16,3	13,977	17,785	3,808	0	5,22	7,80	8213,8	8039,8	4423,8	0,774	5714
16,3	14,060	17,980	3,920	+0,006	4,82	7,84	8438,2	8240,2	4421,2	0,764	5786
16,7	14,125	18,220	4,095	0	4,92	7,69	8832,9	8640,9	4420,5	0,771	5734
16,5	13,957	18,040	4,083	—0,002	4,51	7,68	8802,7	8586,1	4343,5	0,751	5781
17,3	14,495	18,570	4,075	+0,005	6,03	7,70	8800,0	8674,6	4418,6	0,762	5797

Zu den beiden ersten Bestimmungen war die kupferne Taucherglocke verwendet worden, zu den übrigen aber die Glocke aus Platin. Wie bei der bedeutenden Wärmeentwicklung nicht anders zu erwarten war, sind bedeutende Mengen von Chlorkalium verdampft. Die einzelnen Resultate stimmen, wie man sieht, mit einander sehr

1) Hoppe-Seyler, Chem. Analyse S. 245 4. Aufl.

gut überein. Einen Unterschied zwischen den Resultaten, welche mit einer kupfernen Taucherglocke und der Taucherglocke aus Platin erhalten wurden, habe ich nicht finden können. Denn man hat als Mittel von 1 und 2 (kupferne Glocke) 5734 cal.

und bei NO 4 — 6 (Platinglocke) 5775 cal.

für ein Gramm trocknes Eiweiss.

Die Verbrennungen verliefen, selbst wenn grössere Mengen von Substanzen, z. B. 1,37 g verwendet wurden, so, dass ein Geruch nach N_2O_4 nicht auftrat. Dem entsprechend liessen sich auch nur Spuren von Stickstoff-Oxydationsproducten im Calorimeterwasser nachweisen.

Es fand sich als Gesammtmenge der Oxydationsproducte (nach Schlösing), auf NO_3H gerechnet, nur

0,039 — 0,044 g,

also Werthe, welche für eine Correctur des Resultats vollkommen belanglos sind.

In maximo waren 9,7 mg N entsprechend an Stickstoffoxydationsproducten gebildet worden; auffallend blieb, dass die Hauptmasse in diesen Fällen nicht NO_3H, sondern NO_2H war. Da bei 4 — 6 0,763 g Eiweiss zur Verbrennung benützt worden sind, welche 0,1266 g N enthalten, so sind demnach nur 7,7 % des in dem Eiweiss vorhandenen Stickstoffes oxydirt worden.

Im Calorimeterwasser von Versuch 1 und 2 war offenbar durch die bei der Verbrennung von Eiweiss freiwerdende SO_4H_2 etwas Kupfer gelöst worden.

Als Mittelwerth aller Bestimmungen ergibt sich für 1 g der Eiweissstoffe des Muskels, welche in Wasser unlöslich sind:

5754 cal.,

das ist ein hoher Wärmewerth; er wird unter den bis jetzt vorliegenden Stoffen nur durch das Casein erreicht, für welches Stohmann 5715 cal. pro Gramm angibt [1]).

Berücksichtigt man, dass mein Präparat noch etwas Asche enthielt, so träfe auf 1 g sogar statt 5754

5778 g pro 1 g aschefreier Substanz.

1) S. 580.

b) Die Verbrennungswärme der Abfallstoffe.

1. Verbrennungswärme des Harns.

Um Material für die Verbrennungen zu erhalten, wurde ein kleiner Hund mit dem Eiweissmaterial [1]), welches auch zu der vorstehenden Untersuchung gedient hatte, 8 Tage hindurch gefüttert.

Der Harn der ersten 6 Tage wurde für die folgenden Untersuchungen nicht verwendet, um dem Einwand zu entgehen, es fänden sich Stoffe in demselben, welche keine Zersetzungsproducte des Eiweisses, sondern als aus dem Körper ausgespülte Stoffe zu betrachten seien. Sonach ist also nur der Harn vom 7. — 8. Fütterungstage benützt worden (550 ccm von 1047 sp. Gewicht auf 800 ccm verdünnt).

Die entleerten 800 ccm Harn enthielten 81,245 g organische Substanz [2]), an N war in dieser enthalten 32,864 g.

Als nun 300 ccm dieses Harns auf einer zureichenden Menge von Bimsstein (60 g) frei auf dem Dampfbade getrocknet wurde, wog der Rückstand, als er zusehends trocken war, 27,70 g, indess nach der Trockenbestimmung hätte gefunden werden sollen 31,02 g.

Es fehlten demnach 3,32 g, ein Verlust, welcher durch Zersetzung des Harnstoffs beim Trocknen entstanden ist. (Deficit = 10,7 %).

Die Harnbimssteinmischung ist nun für die Bestimmung der Verbrennungswärme benützt worden und zwar verwendete ich bei allen diesen Versuchen die aus Platin hergestellte Taucherglocke. Als Zusatz zur Harnbimssteinmischung wurde Naphtalin verwendet, da es sich in Vorversuchen am tauglichsten erwiesen hatte. Die Verbrennungswärme des von mir verwendeten Naphtalinpräparats ist oben [3]) angegeben worden.

Es wurden verschiedene Mengen der Harnbimssteinmischung verbrannt und zwar in den beiden ersten Versuchen je 4 g davon, in den zwei anderen Versuchen aber nur je 3,0 g.

---

1) Natürlich in frischem Zustande.

2) 15 ccm Harn gaben im Mittel 1,5510 g Trockenrückstand,
30 ccm „ „ „ „ 0,0534 g Asche,
in 15 ccm ist demnach an organischer Substanz 1,5510
— 0,0267
1,5243 g
= 81,245 pro 800 g.

3) S. oben S. 267.

Die Versuchsresultate enthält die folgende Tabelle.

Tabelle über den Harn nach Fleischeiweissfütterung.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Harn-Bimsstein verbrannt
15.7	14,055	17.960	3.905	+ 0.011	6,94	7,96	8418,8	8348,0	3448,8	4,0907
15,5	14,142	17.980	3.838	+ 0,014	7.35	7.97	8293.7	8247.5	3350,0	3,9660
18.3	15.354	19.212	3.858	− 0.032	7.25	7.97	8253,6	8200.4	2663.9	3.1201
18.8	16.239	19.904	3.665	− 0.021	7.35	7.97	7860.1	7813,9	2669.4	3,0391

Für beide Gewichtsmengen sind jedesmal die Mengen der Oxydationsproducte bestimmt worden, um die Abhängigkeit dieser von dem N-Gehalte der Mischung kennen zu lernen.

Bei 4,0 g Harnbimssteinmischung fand sich im Mittel:

0,146 NO_3H[1] (= 32.4 mg N)

und 0,085 NO_2H (= 25,3 mg N).

Der calorische Werth der Correctur ist demnach:

+ 33.14

und − 7.59

+ 25.55 cal.

Für die Verbrennungen mit 3.0 g Bimssteinmischung wurde erhalten bei Nr. 3 der Tabelle:

0.1852 NO_3H (= 41.1 mg N)

0.079 NO_2H (= 27.7 mg N).

Der calorische Werth dieser Producte ist:

+ 42.99

− 7.07

+ 35.92 cal.

und für Nr. 4 der Tabelle:

0.212 NO_3H (= 47.06 mg N)

und 0.077 NO_2H (= 25.00 mg N).

1) S. oben S. 274.

sonach der calorische Werth der Producte:

$$\begin{array}{r} +\ 48{,}1 \\ -\ \ 6{,}9 \\ \hline +\ 41{,}2\ \text{cal.} \end{array}$$

Man erkennt sonach, dass durch die Verminderung der Harnbimssteinmischung von 4g auf 3g keineswegs auch eine Verminderung der Stickstoffoxydationsproducte eingetreten ist.

Corrigirt man die bei den einzelnen Versuchen erhaltenen Werthe mit den eben angeführten Correctionszahlen, so hat man:

$$\begin{array}{rl} 1.\ w_3 = & 3448{,}3 \\ - & \ \ \ 25{,}5 \\ \hline & 3422{,}8\ \text{cal., also } 1^g = 837{,}1. \\ 2.\ w_3 = & 3350{,}0 \\ - & \ \ \ 25{,}5 \\ \hline & 3324{,}5\ \text{cal., also } 1^g = 838{,}8. \\ 3.\ w_3 = & 2663{,}9 \\ - & \ \ \ 35{,}9 \\ \hline & 2628{,}0\ \text{cal., also } 1^g = 851{,}1. \\ 4.\ w_3 = & 2669{,}4 \\ - & \ \ \ 41{,}2 \\ \hline & 2628{,}2\ \text{cal., also } 1^g = 861{,}0. \end{array}$$

Im Mittel also pro 1g Harnbimssteinmischung

845,4 cal.

Die Betrachtung der Oxydationsproducte des Stickstoffs hat in diesem Falle besonderes Interesse und dient zur Ergänzung der früher besprochenen Verhältnisse [1]). Die von mir schon früher ausgesprochene Behauptung, dass man nicht beliebig durch Zusätze von N-freien Substanzen die Bildung von Oxydationsstufen des Stickstoffs zu vermeiden im Stande sei, findet vollauf ihre Bestätigung [2]).

Ist durch eine Verminderung der zur Verbrennung verwendeten Substanzmenge weniger Stickstoff oxydirt worden?

Es kann vorausgeschickt werden, dass in allen Versuchen je ca. 0,4g Naphtalin und 0,1g Rohrzucker als Zusatzstoffe verwendet worden sind.

1) Rubner, Calor. Untersuchungen S. 372.

2) S. oben S. 273.

Berechnet man NO_3H und NO_2H auf ihren Stickstoffgehalt, so hat man bei Verbrennung von
4,0 g Bimssteinmischung in Form v. Oxydationsprod. erhalten 57,7 mg N,
bei 3,0 g „ „ „ „ im Mittel 69,4 mg N,
es ist also geradezu durch ein relatives Uebergewicht der N-freien Substanzen sogar eine vermehrte Oxydation eingetreten. Diese auffallende Erscheinung erklärt sich dadurch, dass überall, wo Stickstoff bei sehr hoher Temperatur mit Sauerstoff zusammenkommt, Untersalpetersäure entsteht; wenn man nun die Menge der Wärme liefernden N-freien Substanz gleich gross lässt und nur die Menge der N-haltigen Substanz variirt, so wird die Geschwindigkeit, mit welcher die Gase die Flamme verlassen, bei der grossen Menge stickstoffhaltiger Substanz grösser sein als bei einer kleineren Menge. Es hat demnach die kleinere Substanzmenge, weil ihr Stickstoff die Flamme langsamer durchsetzt, mehr Chancen für die Oxydation.

Wie viel an Stickstoff ist nun in den betrachteten Fällen oxydirt worden?

Wie sich aus den mitgetheilten Zahlen entnehmen lässt, hat die Harnbimssteinmischung 31 % organische Bestandtheile enthalten; das ist also für 4 bezw. 3,0 g der Mischung 1,24 bis 0,93 g organische Substanz.

Die hierin enthaltene Stickstoffmenge ergibt sich aus folgendem: 300 ccm Harn lieferten frisch untersucht 12,32 g N; da aber beim Eintrocknen des Harns 3,32 g Harnstoff zersetzt wurden, so bleibt als Stickstoffgehalt der Harnbimssteinmischung übrig:

$$\begin{array}{r} 12,32 \\ -\ 1,55 \\ \hline =10,77\text{ g}. \end{array}$$

Die Harnbimssteinlösung wog 87,7 g; es enthielt also 1 g ca. 0,1228 g N,
4 g demnach 0,4912 g N
und 3 g „ 0,3684 g N.

Die Oxydationsproducte betrugen für den ersten Fall auf Stickstoff gerechnet 57,7 mg, sonach also 11,7 % des Stickstoffgehaltes des verwendeten Harns; für den zweiten Fall ist erhalten worden: einmal 66,8 mg N und dann 72,1 mg N,

sonach sind 18,1 %
und 19,5 %
im Mittel also 18,8 %

des Stickstoffgehaltes oxydirt worden [1]). Die Menge der N-freien Zusätze zu stickstoffhaltigen Körpern muss, wie man aus diesen Angaben erkennt, genau bemessen werden. Dies kann nur durch Vorversuche geschehen. Auf dem Wege durch Verminderung der Substanzmenge und Ueberwiegen der stickstofffreien Stoffe etwas erreichen zu wollen, würde man sehr irren.

Kehren wir nun, nachdem die Verbrennungswärme der Harnbimssteinmischung festgestellt ist, zurück zur Frage, wie viel der Verbrennungswerth des ganzen bei Eiweissfütterung entleerten Harns betrage.

300 ccm Harn hatten 27,7 g trocknen Harns geliefert und zwar ist auf 60,0 g Bimsstein eingetrocknet worden. Es sind also 87,7 g Harnbimssteinmischung vorhanden gewesen. Der Wärmewerth derselben betrug

$$(87{,}7 \times 845{,}4) \quad 74{,}141 \text{ Cal.},$$

ausserdem aber gingen durch Zersetzung von Harnstoff zu Verlust

$$3{,}32^{g} \text{ (à 2523 cal.)} = 8{,}376 \text{ Cal.},$$

die Summe betrug sonach

$$\begin{array}{r} 74{,}141 \\ +\ 8{,}376 \\ \hline 82{,}517 \text{ Cal.,} \end{array}$$

das ist also der totale Verbrennungswerth der trocknen Bestandtheile von 300 ccm Harn.

Wenn nun 400 ccm Harn 16,432 g N enthielten [2]), so trifft auf 300 ccm Harn 12,324 g N, so dass demnach 12,324 N 82,52 Cal., also

1 N 6,69 cal.,

an Wärmewerth entsprechen; das ist demnach mehr an Wärme als wenn der Harn nach Eiweissfütterung eine reine Harnstofflösung darstellen würde. 1 g Harnstoff mit 0,466 g N liefert 2523 cal.; auf 1 N trifft also 5,41 Cal.

---

1) Ich habe bei Verbrennung von 0,97 g Harnstoff mit 0,5 g Stearinsäure und 0,1 g Rohrzucker (s. S. 285), d. i. bei 0,452 g N ebenfalls 18% des Stickstoffs oxydirt gefunden.

2) S. oben S. 299.

300 g Harn enthielten an organischer Substanz 30,486 g mit einem Wärmewerth von 87,517 Cal., es lieferte also 1 g organischer Substanz

2706 cal.

1 g Harnstoff liefert 2523 cal., sonach wird bei Eiweissfütterung mehr an verbrennlicher Substanz entleert, als man bei alleiniger Abspaltung von Harnstoff erwarten dürfte. Das Plus beträgt

+ 7,2 %.

Es steht also dieses Ergebniss in Einklang mit den oben mitgetheilten[1]) Thatsachen, dass der Harn nach reiner Eiweissfütterung eine Reihe von Körpern enthält, welche nicht Harnstoff sind und dass der C-Gehalt des Harnes höher ist, als wenn reiner Harnstoff ausgeschieden würde.

Noch eine andere Thatsache sei bei dieser Gelegenheit angeführt. Zerlegt man den Harn mit BrOK und bestimmt die dabei auftretende Wärmemenge, so findet man, dass auf 1 Theil Harn, welcher zur Verwendung kommt, weit weniger Wärme frei wird, als wenn reine Harnstofflösungen benützt werden. Die neben Harnstoff vorhandenen Stoffe des Harns sind theils durch Bromlauge nicht zerlegbar, theils werden sie nur sehr langsam zerlegt.

Während bei Harnstoff auf 1 Theil N 6,17 Cal. bei der Zerlegung mit Bromlauge frei werden, gibt Harn nach Eiweissfütterung nur ein Verhältniss von 1 : 6,00.

2. Die Verbrennungswärme des Kothes.

Zur Bestimmung der Verbrennungswärme des Eiweisskothes wurde ein grösserer Hund mit dem gleichen Futter wie der kleine, dessen Harn untersucht worden ist, gefüttert. Die von dem kleinen Hunde producirte Kothmenge war zu ausgedehnten Verbrennungsversuchen nicht hinreichend. Der etwa 25 Kilo schwere Hund verzehrte in 9 Tagen 1168,0 g trocknes Eiweiss[2]) und lieferte 37,8 g trocknen Koth, d. h. das Eiweiss wurde mit 3,24 % Verlust aufgenommen.

Die Berechtigung, die Ergebnisse der Untersuchung an dem grossen Hund zu verallgemeinern, ergibt sich aus der Uebereın-

1) S. oben S. 279.

2) Die frische Substanz hatte 29,4 — 31,0 % Trockensubstanz enthalten.

stimmung der Ausnutzung bei dem grossen und dem kleinen Hunde. Letzterer schied bei proportionaler Fütterung von 100 Theilen Trockensubstanz 3,1 g wieder im Kothe aus. Die Zusammensetzung des Kothes bei beiden Thieren war nahezu identisch.

Grosser Hund: Aschegehalt d. tr. Kothes 16,50 %, N-Gehalt 7,02 %
kleiner Hund: „ „ „ 16,58 %, „ 6,95 %

Die Verbrennungen sind unter Zuhilfenahme von Naphtalin vorgenommen worden. Die Substanz war bei 100 ° getrocknet. Folgende Tabelle enthält die Resultate [1]).

Tabelle über den Fleischeiweisskoth.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Substanz verbrannt	1 g liefert
18,0	15,504	19,601	4,097	— 0,034	3,77	7,94	8914,2	8639,4	4421,9	0,775	5706
18,1	16,593	21,414	4,821	— 0,004	3,67	7,84	10568,5	10294,3	6093,4	1,065	5719
17,1	15,451	20,622	5,171	— 0,010	4,18	7,65	11323,2	11078,4	7755,0	1,367	5673
17,9	15,628	20,203	4,575	— 0,052	4,48	7,66	9923,5	9696,1	6344,6	1,101	5762
16,9	14,603	18,727	4,124	— 0,046	4,59	7,66	8947,1	8725,7	5706,4	0,992	5752

Die Zerlegung war eine nahezu complete, obschon der Stickstoffgehalt der Substanz kein unbeträchtlicher war. Trotz aller Fürsorge war es unmöglich die Substanz bis zu jenem Grade der Feinheit zu bringen, der beim Pulverisiren des Eiweisses erlangt wurde. Wie man aus den mitgetheilten Zahlen sieht, hat dieser Umstand aber die Erlangung gleichmässiger Versuchsresultate nicht beeinflusst. Nur eine mit einer sehr grossen Substanzmenge angestellte Verbrennung lieferte einen etwas niedrigeren Werth.

Das Calorimeterwasser enthielt nach der Verbrennung nur unbedeutende Mengen von Stickstoff-Oxydationsproducten; auf NO_3H gerechnet, betrug die Menge

0,02 — 0,04 g.

1) Es war in diesem Falle die kupferne Taucherglocke benützt worden.

Die gelöste Kupfermenge war ganz unbedeutend. Man kann demnach von einer Correction der calorischen Werthe in diesem Falle völlig absehen.

Bei den hohen Temperaturen, welche bei der Verbrennung des Kothes auftraten, ist viel Chlorkalium verdampft. Wegen des hohen Aschegehaltes des Kothes kann die Bestimmung des verdampften Chlorkaliums nur in der oben von mir angegebenen Weise gemacht werden.

Nimmt man aus den in der Tabelle mitgetheilten Werthen das Mittel, so erhält man für 1 g Eiweisskoth **5722 cal.**

Da aber nur 83,5 % organische Substanz in demselben enthalten sind, so trifft auf 1 Theil organisch **6852 cal.**

Die Zusammensetzung eines derartigen Kothes war:

100 Theile enthalten:	7,02 N
	46,92 C
	16,50 Asche.

Da von 100 Theilen trockenem Eiweisse 3,24 Theile trockener Excremente sich bilden, so gehen mit letzteren **18,539 Cal.** verloren.

c) Uebersicht über den physiologischen Nutzeffect des Eiweisses.

Für den endgültigen Nutzeffect des Eiweisses erhält man folgende Berechnung: 100 Theile trockenes Eiweiss haben einen N-Gehalt von 16,59 g. Von letzteren gehen 0,23 g mit dem Kothe ab, so dass hinterbleiben

$$\begin{array}{r} 16{,}59\,g\ N \\ -\ 0{,}23 \\ \hline 16{,}36\,g\ N, \end{array}$$

welche mit dem Harne austreten. Nach Seite 303 ist zu entnehmen, dass, bezogen auf den im Harne entleerten Stickstoff (als einer leicht bestimmbaren Grösse), bei Eiweissfütterung pro 1 Theil des ersteren 6,69 Cal. an brennbaren Stoffen vorhanden sind; sonach also für 16,36 g N die ansehnliche Menge von **109,45 Cal.**

Wie schon berechnet worden ist, gehen bei 100 Theilen Eiweiss 3,24 Gewichtstheile mit dem Kothe verloren, welche verbrennliche Theile im Werthe von 18,54 Cal. enthalten. Es ist also die Bilanz folgende:

100 Theile trockenes Eiweiss			575,4 Cal.
Abfallstoffe	Harn 109,45 Koth 18,54	Summe 127,99	128,0
es verbleibt demnach			447,4 Cal.

Es wäre zulässig diesen Werth als physiologischen Nutzeffect des Eiweisses zu betrachten, wenn sowohl das Eiweiss wasserfrei zugeführt würde, als auch die Abfallstoffe den Körper völlig wasserfrei verliessen. Das ist aber nicht der Fall. Man muss also noch in Betracht ziehen, wie sich die verschiedenen Producte zu Wasser verhalten.

Die Eiweisskörper quellen im Wasser. Quellungen erfolgen, wie Pouillet[1]) für organisirte und unorganisirte Körper dargethan hat, fast immer unter Wärmeentwicklung. Die Verbrennungswärme eines im Wasser gequollenen Körpers muss daher kleiner sein, wie jene des trockenen Körpers.

Nun liegen leider keine Bestimmungen über die Wärmeentwicklung bei der Quellung von Eiweisskörpern vor. Nur von einigen andern Stoffen kennen wir annähernd die Aenderung im Energiegehalt beim Quellen. Nägeli[2]) hat beobachtet, dass 40^g Stärke (trocken) + 40^g Wasser eine Temperaturerhöhung von 11,6^0 geben. Die specifische Wärme der Mischung = 1 genommen (was aber nicht genau ist), erhielt man 0,928 Cal., welche von der Verbrennungswärme der Stärke (40^g à 4146 cal. [3]) = 165,8 Cal. in Abzug zu bringen sind. Wie man sieht beträgt also die Differenz etwa 0,5 % der Verbrennungswärme des quellenden Körpers. Es mag daher bei der Geringfügigkeit der Correction erlaubt sein, diesen Werth auch für die Quellung der Fleischeiweisskörper zu Grunde zu legen[4]).

Auch der Koth verlässt den Körper in feuchtem Zustande. Bei der geringen Menge desselben (3 % der Zufuhr) kann eine

1) Annal. d. Chim. et de phys. 1822 vol. XX p. 160.
2) Nägeli, die Gärung S. 130.
3) Stohmann a. a. O. S. 550.
4) Ich habe bereits einige Versuche über die Quellung des Eiweisses angestellt. Sie erfolgt, wie hier aus anderen Thatsachen gefolgert wird, unter Wärmeentwicklung, doch sind mir bis jetzt vollkommene Quellungsversuche noch nicht geglückt.

etwa durch Wasseraufnahme bedingte positive oder negative Wärmetönung ausser Betracht bleiben.

Anders verhält es sich mit dem Harne. Die Harnbestandtheile stellen ihrem Gewichte nach einen bedeutenden Bruchtheil des zugeführten Eiweisses vor, nemlich 40,9 %[1]) und ausserdem erfolgt die Lösung des Hauptbestandtheils des Harns, des Harnstoffs, unter bedeutender Wärmebindung. Die Verbrennungswärme des feuchten Harns ist also grösser als die des trocknen. Nach meinen Bestimmungen beträgt die Lösungswärme von einem Molekül Harnstoff[2]) 3679. cal.; pro 1 g demnach 61,32 Cal. = 2,4 % der Verbrennungswärme des trocknen Harnstoffs.

Wie sich andere Harnbestandtheile verhalten, weiss man noch nicht; es genügt aber für die aus der Lösung des Harnes resultirende Correctur anzunehmen, es käme nur Harnstoff in Betracht. Sonach wäre die Lösungswärme von 35,1 g Harnstoff (35,1 × 61,3) mit 2,15 Cal. in Rechnung zu bringen.

Man erkennt also, dass der Nutzeffect des Eiweisses dadurch, dass man Quellung desselben und Lösungswärme des Harnstoffs in Betracht zieht, kleiner wird.

1. Für Quellung kommt in Abzug	2,88
2. für Lösung des Harnstoffs	2,15
	5,03

Es verbleiben von 100 Eiweiss als physiologischer Nutzeffect in maximo

$$\begin{array}{r} 447,4 \\ -\ 5,0 \\ \hline 442,4 \text{ Cal.} \end{array}$$

Das sind also nur 76,8 % der Brutto-Verbrennungswärme des Eiweisses; zu Verlust gehen 23,2 %.

Hätte man den Nutzeffect des Eiweisses nur in der üblichen Weise berechnet, indem man die Harnstoffabspaltung als den alleinigen Verlust angenommen hätte, so wäre folgendes Resultat erhalten worden:

1) Auf 1 Theil N trafen 2,5 Theile organisch.

2) Rubner, Zeitschr. f. Bilologie Bd. 20 S. 414.

	100 trocknes Eiweiss	= 575,44 Cal.
—	35,5 trockner Harnstoff	= 89,56
		485,88 Cal.

Der Nutzeffect wäre sonach gleich 84,4 %, der Verlust nur 15,6 %. Der Verlust wäre also um 48 % zu klein angeschlagen worden. Stohmann (c. c. p. 580) nimmt in dieser Weise den Nutzeffect von Eiweiss z. B. zu 472,00 Cal. gegenüber einem Bruttowerth von 556,5 Cal. an, d. h. er berechnet eine Kraftausnützung von 84,81 % gegenüber einem Verlust von 15,19 %.

Da es für viele Fälle nöthig ist, die Zersetzung eines thierischen Organismus, welche in Stoffen ausgedrückt ist, zurückzuführen auf das einheitliche Maass calorischer Werthe, und da namentlich die Zersetzung des Eiweisses aus dem in den Excreten auftretenden Stickstoff erschlossen wird, so sei hier auch angegeben, wie viel pro 1g in den Excreten auftretenden Stickstoffs an Wärmewerth zu setzen ist.

Da 100 trocknes Eiweiss = 16,59g N = 442,4 Cal., so trifft auf 1 N

26,66 Cal.

Der eben entwickelte physiologische Nutzeffect des Eiweisses setzt voraus, dass die Spaltungsproducte desselben, ausser flüssigen und festen, nur OH_2 und CO_2 sind. Dies trifft nicht immer zu. Bei manchen Thieren werden ausser CO_2 und OH_2 noch wesentliche Mengen von Wasserstoff und Kohlenwasserstoff gebildet. Wo diese Stoffe aus Eiweiss gebildet werden, fällt der physiologische Nutzeffect noch kleiner aus als wir angenommen haben.

8. Der physiologische Verbrennungswerth des Muskels.

Nur selten wird sich der Fall ereignen, dass Eiweisskörper als solche in den Organismus gelangen und zerlegt werden; in nahezu allen bisher untersuchten Fällen verstand man unter Eiweisszufuhr die Zufuhr eines eiweissreichen Körpers und der Hauptrepräsentant für diese Gruppe war das Muskelfleisch. Eine Berechnung des Wärmewerthes des Muskels ist vorläufig unausführbar, denn dazu müsste die Verbrennungswärme aller Componenten des Muskels, die Art ihrer Zerlegung im Körper und die Kenntniss der

speciellen Abfallsproducte vorhanden sein. Ueber den physiologischen Verbrennungswerth des Muskels hat demnach zweckmässigerweise die directe Beobachtung nach dem für das Eiweiss im Vorstehenden gegebenen Wege zu entscheiden. Nur das weiss man von vornherein anzugeben, dass das Fleisch in den Extractivstoffen einen für die Verbrennungswärme im Thierkörper gleichgültigen Ballast mit sich führt. Natürlich sind in dieser Hinsicht die im frischen Extracte todtenstarrer Muskel sich findenden Kohlehydrate (Glyogen, Zucker) ausgenommen; denn wir wüssten keinen Grund, warum dieselben den Verbrennungen entgehen sollten. Die Milchsäure des Extracts darf wegen des geringen Verbrennungswerthes dieser Säure und der geringen Menge, in welcher sie vorkommt, ausser Betracht bleiben.

Die Vertheilung der einzelnen Stoffe im Muskel ist folgende:

100 Theile trocknes, fettfreies Fleisch enthalten [1]):

70,12 Syntonin, Myosin, leimgebendes Gewebe,
8,57 Hämoglobin + Serumalbumin,
3,13 Muskelalbumin,
12,68 (Extractivstoffe [organische Bestandtheile]),
5,50 Asche [2]).

Als elementare Zusammensetzung haben für den Muskel Playfair und Böckmann angegeben:

51,86 C
7,58 H
15,03 N
21,30 O
4,23 Asche.

Ich erhalte pro 100 Theile trocknes und fettfreies Fleisch 15,40 % N (nach Dumas), Petersen findet in der entfetteten Substanz von Rindsmuskeln 15,2 — 15,67 % N (nach Dumas und Will-Varrentrapp) und zu gleichen Werthen kömmt

1) Als Rest berechnet. Die übrigen Werthe direct bestimmt.

2) Voit, Grouven, geben für 100 Theile trocknes (aber nicht fettfreies) Fleisch 5,39 — 5,33% Asche an, Zeitschr. f. Biologie Bd. 1 S. 100.

man, wenn die von Gruber[1]) für mageres Ochsenfleisch angegebenen Werthe (Mittel 15,04 % N) auf fettfreies Fleisch berechnet werden; mageres Fleisch enthält etwa 3,6 % der Trockensubstanz an Fett.

Man kommt also zur Annahme, dass sich die Analyse von Playfair und Böckmann auf Fleisch von mässigem Fettgehalt bezogen habe, worauf übrigens auch die auffallend niedrige Zahl für den Aschegehalt des Fleisches hindeutet.

Für den C-Gehalt fand ich in meiner Probe für 100 Theile trocken und fettfrei

50,46 % C,

demnach weniger als Playfair und Böckmann gefunden. Der Unterschied erklärt sich gleichfalls durch die Annahme, dass das Fleisch, das von den genannten Autoren untersucht wurde, noch Fett enthielt.

a) Die Verbrennungswärme des Muskels.

Das zur Verbrennung verwendete möglichst fettarme Fleisch[2]) war sorgfältigst von Sehnen und Bindegewebe befreit, dann zerkleinert und zum Brei zerrieben worden. Es wurde rasch bei 100° getrocknet und mit Aether entfettet; dabei wird allerdings nicht nur das Fett, sondern auch noch etwas N-haltige Substanz des Extracts mit ausgezogen, doch ist dieser Fehler geradezu minimal[3]).

Das Pulverisiren der Substanz war sehr mühsam und es konnte doch schliesslich nicht der gleiche Grad von Feinheit, wie bei dem Muskeleiweiss erreicht werden.

Mit Naphtalin zerlegt, verbrennt es leicht, auch ohne dass eine Zündschichte nöthig geworden wäre. Von fünf Versuchen weicht das Resultat der ersten zwei etwas weiter vom Mittel ab als sonst der Fall zu sein pflegte. Die folgende Tabelle gibt die einzelnen Werthe.

---

1) Gruber, Zeitschr. f Biologie Bd. 7 S. 175.

2) Mit 23,89 % Trockensubstanz,
3,86 % Extract mit 27,6 % Asche,
0,82 % Fett der Fleischsubstanz,
5,60 % Asche der Trockensubstanz.

3) Petersen, Zeitschr. f. Biologie Bd. 7 S. 175.

Tabelle über Muskelfleisch.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Fleisch verbrannt	1g Fleisch liefert cal.
16,0	13,676	18,070	4,394	— 0,006	5,65	7,92	9627,2	9468,2	6919,9	1,266	5465
16,1	14,655	18,856	4,201	+ 0,015	5,60	7,81	9249,9	9099,9	6431,4	1,220	5269
16,7	14,655	18,739	4,084	0	7,28	7,75	8948,0	8898,0	6626,3	1,226	5405
16,8	16,022	20,548	4,526	+ 0,027	5,86	7,92	9989,3	9853,7	5694,7	1,062	5362
17,0	15,524	20,012	4,488	+ 0,017	4,60	7,79	9884,0	9672,8	5269,8	0,982	5366

Die Entwicklung von Chlorkaliumdämpfen war eine sehr mächtige. Im Mittel wurden bei Nr. 1—3 der Tabelle 0,196g Naphtalin und für Nr. 4 und 5 je 0,378g Naphtalin verwendet.

In keinem Versuche war ein merklicher Geruch nach N_2O_4 aufgetreten, ähnlich also wie bei den Verbrennungen des Eiweisses, die schon mitgetheilt worden sind. Es fanden sich im Calorimeterwasser (nach Schlösing) im Mittel an Oxydationsproducten

$$0{,}0395\ NO_3H\ (= 8{,}8^{mg}\ N).$$

Diese Grösse ist so unbedeutend, dass eine Correctur dadurch nicht bedingt wird. In allen Fällen war aber etwas Kupfer oxydirt worden, im Mittel

0,056 g.

Die hierdurch bedingte Correction beträgt 36,68 cal. pro Verbrennung. Da nun erhalten wurde für w_3 (im Mittel) 6188,4 cal., so bleibt nach Abzug der Correction

$$\begin{array}{r} 6188{,}4 \\ -\ 36{,}7 \\ \hline 6151{,}7\ \text{cal.}; \end{array}$$

bezogen auf die im Mittel verwendete Substanzmenge von 1,151g, ergibt sich also für 1g trockenes und fettfreies Fleisch

5345 cal.

Dieser Werth ist höher als der von Frankland angegebene mit 5103 cal.; Danilewsky hatte in einer späteren Publication [1]) einen etwas höheren Werth 5431 mitgetheilt. Die neuesten Versuche Stohmann's [2]) geben nur pro 1g 5321 cal. Die Differenz zwischen dieser Zahl und der meinen beträgt 0,5 %, um welchen Werth meine Zahl die von Stohmann überschreitet.

100 Theile trocknes, fettfreies Fleisch enthalten nach meiner Analyse 94,5 Theile organischer Substanz; es trifft also auf 1 Theil organischer Muskelsubstanz

5656 cal.,

demnach gegenüber der Verbrennungswärme der in Wasser unlöslichen Eiweisskörper des Muskels mit 5778 cal. nicht viel weniger (um 2,2 %). Da dies auffallen mag, dass eine Mischung von Eiweissstoffen mit Extractivstoffen nur unbeträchtlich weniger Wärme liefert als die Eiweisskörper, welche den grössten Theil des Muskel ausmachen, und man anzunehmen pflegt, die Extrativstoffe besässen keinen hohen Wärmewerth [3]), so muss man vermuthen, dass das Herabdrücken des Verbrennungswerthes des Fleisches durch die Extrativstoffe übercompensirt werde durch einen etwas höheren Verbrennungswerth von Hämoglobin, Serumalbumin und Muskelalbumin. Eine Bestätigung der Annahme scheint mir in den Zahlen zu liegen, welche ich bei Verbrennung von Hämoglobin erhalten habe. (Aus Pferdeblut hergestellt.) In zwei Versuchen ergab sich:

Tabelle über das Hämoglobin (des Pferdes).

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	verbrannt	1g liefert cal.
18,4	16,513	20,548	4,035	– 0,035	5,50	7,99	8776,0	8620,0	8038	1.352	5943
18.3	16,794	21,006	4,212	– 0,029	5.60	7,99	9177,5	9027,5	8445	1,418	5956

1) Biol. Centralblatt Bd. 2 S 374.

2) a. a. O. S. 376.

3) Danilewsky hat a. a. O. eine Verbrennung von Fleischextract ausgeführt und pro 1g 3206 cal. angegeben. Der Aschegehalt des Präparates ist aber nicht mitgetheilt. Legt man der Analyse einen mittleren Aschengehalt von

Recht bemerkenswerth war der Umstand, dass das Hämoglobin ausserordentlich leicht verbrannte; es war weder eine Zündmasse noch ein Zusatzstoff nothwendig. Dabei war kein Geruch nach N_2O_4 bemerkbar. Eine Bestimmung der Oxydationsproducte wurde nicht ausgeführt und war auch nicht nöthig, wie aus den bereits mitgetheilten Analysen von Eiweiss, Fleisch und den Kothsorten zur Genüge hervorgeht. Im Mittel ist pro 1g trockenes Hämoglobin

5949 cal.

erhalten worden. Dieser Wärmewerth würde nach Abzug der Asche, welche zweifellos in dem Präparate vorhanden war, noch höher ausgefallen sein. Das Hämoglobin scheint sonach ein Eiweisskörper zu sein, welcher den Wärmewerth aller bisher beobachteten überschreitet; es wäre aber erwünscht, dass die Versuche mit reinerem Material noch wiederholt würden.

b) Die Abfallstoffe.

1. Der Harn.

Mit dem nämlichen Fleische, von welchem ein Theil zu vorstehenden Bestimmuugen der Verbrennungswärme diente, wurde ein Hund vom 22. bis 27. Mai 1884 gefüttert und in dieser Zeit 2000ccm Harn mit 76,96g N entleert.

Mit diesem Harne kamen 194,4g organische Bestandtheile zur Ausscheidung [1]); es enthielt sonach die organische Substanz nur 39,63 % an Stickstoff. 300ccm wurden auf 60g Bimsstein getrocknet [1]). Bei dem Trocknen des Harns zersetzte sich, offenbar wegen des höheren Aschegehaltes desselben, eine grössere Menge von Harnstoff, als bei dem Harn nach Eiweissfütterung, die nur minimale Mengen von Asche enthielt. 300ccm Harn gaben 27,4g Trockenrückstand, indes 33,35g hätten erhalten werden sollen. Es sind sonach 5,95g Harnstoff zerlegt worden.

22,4% zu Grunde, so würde auf 1 Theil organisch 4,14 Cal. treffen. Da alle von Danilewsky angegebenen Zahlen zu hoch sind, so ist auch für das Extractum carnis dasselbe anzunehmen.

1) 15ccm Harn geben 1,6676g Trockenrückstand,
davon 0,2126g Asche,
also 1,4550g organisch.

Die Harnbimssteinmischung wurde zur Verbrennung benützt. Die erhaltenen Werthe stehen in der folgenden Tabelle.

Tabelle über den Harn nach Fleischfütterung.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Harnbimssteinmischg. verbrannt	pro 1g Mischung cal.
14,6	14,335	18,240	3,905	+ 0,033	7,00	7,71	8642,1	8575,0	1454,2	1,644	884,6
17,4	16,611	20,470	3,859	+ 0,018	5,67	7,83	8506,1	8359,1	1674,4	2,105	795,5
17,5	16,259	20,168	3,909	+ 0,015	5,82	7,86	8609,3	8471.2	1670,1	2,086	800,7
15.9	15,294	19,299	4,005	+ 0,027	6,02	7,78	8846,3	8720,2	1692,6	2.057	822,8

Im Mittel ist pro 1g Harnbimssteinmischung **825,9 cal.** erhalten worden. Als Zusätze dienten:

bei 1. 0,6202g Naphtalin und 0,119g Rohrzucker
„ 2. 0,5773 „ „ 0,115 „
„ 3. 0,5901 „ „ 0,113 „
„ 4. 0,6080 „ „ 0,127 „

Die Bildung von Stickstoff-Oxydationsproducten konnte nicht vernachlässigt werden. Es fanden sich im Calorimeterwasser an

NO_3H 0,030
Cu 0,038
NO_2H 0,045

woraus sich folgende calorische Werthe ableiten lassen:

NO_3H + 6,8
Cu + 24,9
+ 31,7
NO_2H — 4,0
Gesammteffect = + 27,7

Corrigirt man dem entsprechend das Resultat, so erhält man im Mittel per 1g Harnbimssteinmischung

811,9 cal.

Die relative Menge des oxydirten Stickstoffs war kleiner als bei Harnstoff und bei dem Harne nach Eiweissfütterung.

Da 300 ccm Harn an N enthielten	11,54 g
beim Trocknen aber zersetzt wurden 5,95 g Harnstoff =	2,77 g N
so bleibt als Gehalt der Harnbimssteinmischung . . .	8,77 g N

An Harnbimssteinmischung war vorhanden 87,4 g, so dass auf 1 g also 0,1003 g N treffen. Verbrannt wurden im Mittel 1,973 g Substanz, also mit 0,1978 g N. Die Oxydationsproducte lieferten:

NO_3H = 6,6 mg N
NO_2H = 14,6 mg N
im Ganzen also = 21,1 mg N

das ist also 10,1 % des angewendeten Stickstoffs.

Die Menge der organischen Substanz, welche zur Verbrennung kam, war nicht bedeutend, also die stickstofffreien Körper im Uebergewichte.

300 ccm Harn geben 27,4 g Trockenrückstand,
davon sind Asche 4.3
= 23,1 g organisch.

Also 87,4 g Harnbimssteinmischung enthalten 23,1 g organische Theile, = 26,4 %; 1,97 g, welche zur Verbrennung verwendet wurden, hatten sonach nur 0,52 g organische Bestandtheile. Von Harnstoff aus dem Harn nach Eiweissfütterung wäre bei gleicher Composition der Verbrennungsmischung zweifellos viel mehr N oxydirt worden, als hier beim Fleischharn.

300 ccm Harn haben im Ganzen 87,4 g Harnbimssteinmischung geliefert, der Verbrennungswerth dieser letzteren betrug 70,960 Cal.; hierzu kommt noch die Verbrennungswärme von 5,95 g Harnstoff (à 2523), welche beim Trocknen zerlegt wurden = 15,012 Cal., so dass im Ganzen

70,960
15,012
85,972 Cal.

an Verbrennungswerth vorhanden war.

Da nun 300 ccm Harn 11,54 g Stickstoff enthielten, so trifft auf 1 Theil Stickstoff

7,45 Cal.

gegenüber 6,69 Cal. im Harn bei Eiweissfütterung, demnach mehr um 11,3 %.

300 ccm Harn haben 29,10 g organische Bestandtheile enthalten, auf 1 Theil organisch kommt sonach

2954 cal.

gegenüber dem Harnstoff mehr um 17,0 %; gegenüber dem Harn bei Fleischfütterung mehr um 9,2 %.

Man erkennt demnach, dass ein wesentlich grösserer Spannkraftverlust im Harn bei Fleischfütterung eintritt, als wenn nur Harnstoff ausgeschieden würde; dass der Fleischharn auch gegenüber dem Harn nach Eiweissfütterung wesentlich mehr an verbrennlicher Substanz enthält, und dass namentlich Körper mit beträchtlicher Verbrennungswärme in demselben vorhanden sind. Es kann nach vielfachen Erörterungen der Spannkraftverlust in dem Fleischharn in nichts anderem gefunden werden, als in dem Austreten der wenig oder gar nicht veränderten Extractivstoffe des Fleisches.

2. Der Koth.

Von dem zugeführten Fleische wurden 3,46 % Koth gebildet; also anscheinend etwas mehr als bei reiner Eiweissfütterung. Der Koth wurde bei 100° getrocknet. Ohne Zündschicht ist die Verbrennung schwer auszuführen. Als Zusatz wurde Naphtalin, als Zündschicht 0,05 g Rohrzucker verwendet. Auch hier ging eine ansehnliche Menge von Chlorkalium durch Verdampfung verloren. Die Bestimmung des verdampften Chlorkaliums geschah in der beim Eiweisskoth angegebenen Weise.

Die Bildung von NO_3H war so gering, desgleichen die Oxydation von Kupfer, dass von einer Correctur ganz abgesehen werden kann. Die Versuchsresultate sind folgende:

Tabelle über den Koth nach Fleischfütterung.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	verbrannten Substanz	1 g Substanz liefert
16,9	15,978	20,470	4,492	+ 0,017	4,84	7,71	9882,7	9695,9	5271,9	0,9858	4855
16,8	15,908	20,301	4,393	+ 0,005	4,84	7,71	9649,2	9452,4	4910,4	0,8868	4874

Im Mittel lieferte also 1g Fleischkoth

4864 cal.

Da nun derselbe nur 79,38 % organische Substanz [1]) enthält, so trifft auf 1 Theil organisch

6127 cal.

Von der Verbrennungswärme von 100 Theilen Fleisches gehen mit dem Kothe verloren (3,46 × 4864)

16,829 Cal.,

also weniger als bei Eiweissfütterung [2]). Dieser geringe Verlust des Fleisches ist aber nur ein scheinbarer, denn man muss berücksichtigen, dass das Fleisch nur 81,82 % (s. oben S. 310) eiweissartige Bestandtheile enthält, indem Asche und Extractivstoffe hier ausser Betracht zu bleiben haben. Mit Rücksicht hierauf müsste man erwarten, dass bei Fleischfütterung mit dem Kothe nur 15,169 Cal. verloren werden dürften.

Anmerkung. Der Koth mehrerer lange währender Fütterungsreihen, welcher von verschiedenen mit Fleisch gefütterten Hunden herrührte, war seit einer Reihe von Jahren gesammelt worden. Er war nicht so sorgsam rein von fremden Beimengungen, wie ich dies mit Bestimmtheit für den zu den eben besprochenen Verbrennungsversuchen verwendeten sagen kann; namentlich enthielt er nicht unwesentliche Mengen von Haaren, welche eine vollkommene Zerkleinerung und gute Mischung verhinderten. Ich habe folgende zwei Verbrennungen damit angestellt.

Tabelle über einen Koth nach Fleischfütterung.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	verbrannten Substanz	1g Substanz lieferte cal.
16,9	15,241	20,682	5,361	— 0,011	4,94	7,40	11737,9	11547,5	7658,0	1,606	4768
17,0	15,716	20,932	5,216	— 0,007	4,94	7,40	11428,5	11237,7	7008,5	1,438	4880

1) 100 Theile enthalten: 79,08 % organisch
6,92 % N.

2) Vgl. oben S. 307, es wurden verloren 18,539 cal.

Die Stickstoff-Oxydationsproducte habe ich nicht bestimmt; es gilt für diesen Koth das nämliche, was über das vorige Präparat gesagt wurde. Im Mittel fand sich per 1g Substanz

4824 cal.

Im Mittel waren an organischer Substanz 74,07 %, an Asche 25,93 % vorhanden, sonach treffen auf 1 Theil organisch

6510 cal.

Die beiden untersuchten Kothsorten differiren demnach um 6,2 %. Die zuerst mitgetheilten Zahlen sind die exacteren.

c) Uebersicht über den physiologischen Nutzeffect des Muskels.

Nach den mitgetheilten Daten ist es leicht, die physiologische Verbrennungswärme des Muskels in ähnlicher Weise zu berechnen, wie dieses für die Eiweissstoffe geschehen ist.

100 Theile Ochsenmuskel liefern 534,5 Cal.; im Fleisch sind nach meiner Bestimmung 15,40 % an Stickstoff. Da 3,46 % des Fleisches im Kothe austreten und dieser 6,92 % N enthält, so gehen im Ganzen mit dem Kothe 0,24g Stickstoff ab. Im Fleischharn trifft 1 Theil Stickstoff 7,45 Cal. an Wärmewerth; von 100 Theilen Ochsenmuskel gehen in den Harn über 15,40 — 0,24 = 15,16, letzteren entspricht als Verbrennungswerth (15,16 × 7,46) = 112,94 Cal. und als Verlust durch Koth hat man 16,83 Cal.

Es ist demnach für die trocknen Stoffe die Bilanz folgende:

100 Theile Fleisch		. . . .	534,5
Abfallstoffe	Harn 112,94	Summe .	129,77
	Koth 16,83		
es verbleibt sonach		. . . .	404,73 Cal.

als Nutzeffect für 100 Theile Trockensubstanz.

Legt man nun für den Wärmewerth der feuchten Substanzen dieselben Ueberlegungen zu Grunde, welche oben für das Eiweiss schon angeführt wurden, so muss noch eine weitere Kürzung des physiologischen Wärmewerthes eintreten; denn Quellung des Fleisches wie Lösung des Harns sind Spannkraftverluste. Damit es aber nicht als ein Uebersehen gelte, muss ich hier anführen, dass die Quellungswärme von 100 Theilen trocknen Fleisches wegen des

Gehalts an Extractivstoffen kleiner sein muss als die von 100 Theilen Eiweiss, und dass weiters die Berechnung der Wärmetönung des Harns bei der Lösung im Wasser bei der Annahme, man habe nur Harnstoff zu berücksichtigen, nicht ganz exact ist. Bei der Kleinheit der Correctur im Allgemeinen kann man aber die angenäherten Zahlen wohl zu Hilfe nehmen, da die dadurch bedingte Unsicherheit nur wenige Zehntelprocente betragen kann.

Man hat zu benutzen:

1. für die Quellung den Werth	2,688
2. für die Lösung des Harns (32,44 × 61,32)	1,989
	4,677

Es verbleiben sonach von 100 Theilen Fleisch als physiologischer Nutzeffect in maximo:

$$\begin{array}{r} 404,73 \\ -\ 4,68 \\ \hline +\ 400,05 \text{ Cal.}, \end{array}$$

demnach können bei der Verbrennung von Muskelfleisch im Thierkörper nur 74,9 % der Spannkraft gewonnen werden, 25,0 % gehen zu Verlust; bei Eiweiss wurde verloren 23,2 % gegen 76,8 % ausnutzbaren Kräften.

Hätte man dagegen angenommen, es werde bei Fleisch aller Stickstoff in Form von Harnstoff ausgeschieden, so hätte man, wenn zunächst die früheren Versuche von Frankland und Danilewsky unberücksichtigt bleiben, nach Stohmann

per 1g Fleich (trocken, entfettet)	5321 cal.
nach Abspaltung von Harnstoff .	4508 „

also einen Nutzeffect von 84,72 % und einen Verlust von 15,28 %; die Ueberschätzung des Wärmewerthes der Eiweisskörper ist bei einem derartigen Verfahren eine ganz bedeutende, sie beträgt nämlich:

(400,05 : 450,8 %) 12,6 %.

Es sind daher sämmtliche früheren Berechnungen der Verbrennungswärme, welche auf diese Verhältnisse nicht Rücksicht genommen haben, mit Fehlern bis zu dieser Höhe behaftet und daher zu verwerfen. Irrthümlicherweise hat man theilweise sogar das in dem Fleisch enthaltene Fett mit zur Verbrennungswärme des Fleisches hinzugerechnet.

Da es auch für das Fleisch wünschenswerth ist, eine leicht handbare Hilfszahl zur Berechnung der in Thieren zersetzten Fleischmenge zu erhalten, so wäre zu berechnen, wie viel pro 1g in den Excreten austretenden Stickstoffs an Wärme gebildet worden sein muss. Man hat pro 15,4 Theilen Stickstoff 400,05 Cal., also per 1g

25,98 Cal.

9. Der physiologische Verbrennungswerth der bei Hunger zerfallenden (eiweissartigen) Körpersubstanz.

Wir haben bis jetzt den Fall betrachtet, dass extractivstofffreie und extractivstoffhaltige Eiweissstoffe im Organismus zur Verbrennung kommen. Von wichtigen Fällen bleibt sonach nur mehr die Betrachtung des physiologischen Verbrennungswerthes der von hungernden Thieren zersetzten eiweisshaltigen Leibessubstanz übrig.

Die Thiere verbrennen im Hungerzustande oder bei partieller Inanition Theile ihres Körpers, das ist eiweissartiges Material und Fett. Ueber die Art des Fettes kann man sich leicht bei Tödtung des Thieres überzeugen. Nicht so leicht ist es, sich feste Grundlagen über die stickstoffhaltigen Stoffe zu verschaffen, welche zerlegt werden.

a) Die Verbrennungswärme der Eiweissstoffe.

Die Analyse des Thierleibes gibt wohl Näherungswerthe; doch sind die Resultate nicht ganz exact, weil während der Hungerzeit ein theilweises Ueberwiegen der Knochen und der Haut, vielleicht auch im Allgemeinen der Stützsubstanzen, eintritt. Die sich zersetzenden und zerlegenden Substanzen sind vorwiegend Eiweisskörper; aber ein Gemenge aller möglichen Stoffe, denn nahezu alle Organe des Thierleibes betheiligen sich beim Hungern an dem Stoffverluste. Die Betheiligung der einzelnen Organgruppen an dem Verluste ist (abgesehen vom Fett) eine gesetzmässige und diese durch directe Versuche erwiesene Thatsache wird noch unterstützt durch die Untersuchung des Hungerharnes, welche schon oftmals ausgeführt worden ist und stets ein fast gleichbleibendes Verhältniss der Elemente N und C ergab. Die Untersuchung der Organe hungernder oder verhungerter Thiere hat

gezeigt, dass die Zusammensetzung derselben, wenn man von dem Schwunde der Reservestoffe, Fett und Glycogen, absieht, keine Aenderung erfährt; so dass wir den Eindruck erhalten, es fände bei den Umsetzungen im Hungerzustande ein einfaches Herauslösen von Gewebstheilen statt.

Man könnte sonach daran denken, sich ein Bild von dem im Hunger zerstörten Organgemenge zu machen, wenn man die Analysen der zu Grunde gehenden Körperbestandtheile neben einander stellt. Eine gewisse Berechtiguag wird einem derartigen Vorgehen nicht abgesprochen werden können, und es wird diese Betrachtungsweise überall genügen, wo es sich darum handelt, die Umsetzungen N-freier und N-haltiger Körper in Umrissen zu erkennen; sie musste aber auch genügen, weil man kein anderes Mittel kannte, den experimentellen Nachweis für die Richtigkeit der Betrachtungsweise zu liefern.

Es lassen sich aber unter geeigneten Umständen nähere Angaben über die Zusammensetzung der in einem lebenden Thiere zu Grunde gehenden Stoffgemische machen.

Wie ich zuerst experimentell nachgewiesen habe[1]), kann unter gewissen Verhältnissen (bei lang dauerndem Hunger) alles Körperfett schwinden; ein derartiges Thier lebt alsdann nur von der aus dem Zerfall eiweissartiger Verbindungen resultirenden Kraft.

Unter diesen Umständen lässt sich durch genaue Bestimmung der Ausscheidungen darthun, welchen Gehalt an Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und Asche das frische Organgemenge besitzt, und wenn man die Wärmeabgabe eines derartigen Thieres untersuchen wollte, so könnte man geradezu auch direct die Verbrennungswärme der Substanzen bestimmen.

Ich besitze für ein Kaninchen [2]) die nöthigen Angaben, um einige der gewünschten, zur Charakterisirung der Organgemische wichtigen Anhaltspunkte, mitzutheilen. Der Beweis, dass das von mir untersuchte Kaninchen wirklich nur von den Eiweissstoffen zehrte, liegt in dem Nachweis, dass im todten Thier kein Fett mehr

1) Rubner, Zeitschr. f. Biologie Bd. 17 S. 214 ff.
2) Bd. 17 S. 231.

zu finden war, denn aus dem Kaninchen waren im Ganzen nur 6,6g Aetherextract[1]) erhalten worden, wovon allein auf das Gehirn schon 0,85g trafen. Aus den von mir beobachteten Ausscheidungsproducten, dem Stickstoff und dem Kohlenstoff, lässt sich entnehmen, in welchem Verhältnisse diese beiden Elemente stehen.

Die Ausscheidungen des Kaninchens an den vier letzten Lebenstagen[2]) waren:

	16. Tag	17. Tag	18. Tag	19. Tag
C in der Respiration	7,27	7,07	6,94	2,06
C im Harn	1,89	2,27	2,15	0,66
Summe	9,16	9,34	9,09	2,72
an Stickstoff ausgeschieden	2,381	2,858	2,705	0,825

Da bei dem Kaninchen wohl schon einige Tage vor dem Tode das Fett aufgezehrt war, wie sich aus dem Ansteigen der Stickstoffausscheidung ergab, so stellen die Werthe für Stickstoff und Kohlenstoff den absoluten Gehalt des eingeschmolzenen Organeiweisses an Stickstoff dar. Bildet man die Quotienten $\frac{C}{N}$, so erhält man für die einzelnen Tage:

16.	Tag	3,8
17.	„	3,27
18.	„	3,36
19.	„	3,28

Von den vier Quotienten fällt der erste ausser die Reihe; d. h. es ist offenbar an diesem Tage neben dem eiweissartigen Material der Organe noch Fett zersetzt worden. Einheitlich ist der Quotient an den letzten drei Tagen. Im Mittel beträgt derselbe 3,30.

Man könnte einwenden, dass der Koth nicht berücksichtigt sei. Da aber bei Hunger nur ca. 1,5% des N und ca. 3% des C im Kothe austreten, so liegt eine allenfallsige Aenderung des Werthes des Quotienten erst in der zweiten Decimale; kann also vernachlässigt werden.

---

1) Das Aetherextract hatte folgende Zusammensetzung 75,0% C
10,3% H
14,0% O
0,70% N.

2) a. a. O. S. 232 u. S. 229.

Wir ersehen aus den vorliegenden Zahlen mit Bestimmtheit, in welcher Relation N und C zu einander stehen. Das Verhältniss ist nahezu das gleiche, welches ich oben für die Zusammensetzung des Muskels angegeben habe; für diesen erhält man

1 N : 3,28 C.

Wenn man also annimmt, das im Hunger zu Grunde gehende Gemisch von Organbestandtheilen habe die Zusammensetzung des Muskels, so ist diese Betrachtungsweise die richtige. Die Verhältnisszahl ist aber eine von früheren Beobachtungen abweichende Zahl, worüber schon [1]) oben bei Betrachtung der Zusammensetzung des Fleisches einiges gesagt wurde [2]). Freilich kann man noch einwenden, dass eine gleiche Relation von N : C noch keinen Beweis für die Identität der Verbrennungswärme liefere (s. oben Hämoglobin und Muskeleiweissstoffe); allein thatsächlich betheiligen sich die Muskeln in einem ausserordentlich hohen Procentsatz an dem Einschmelzen bei Hunger, so dass in der That für die übrigen Zuschüsse gar keine wesentliche Aenderung des Endresultates erwartet werden kann.

Sind wir also — das werden spätere Versuche auf dem angedeuteten Wege zu erbringen haben — auch noch nicht im Stande directe Beobachtungen über die Verbrennungswärme des bei Hunger verbrennenden Organgemisches mitzutheilen, so steht doch sicher, dass die Zugrundelegung der Verbrennungswärme des Muskels eine zulässige ist.

b) Die Abfallstoffe.

1. Der Harn.

Ein Hund, welcher drei Tage (nach Ausschluss des ersten Tages) hungerte, lieferte 400 ccm Harn mit 7,232 g Stickstoff. Von dem Harne wurden 150 ccm auf 30 g Bimsstein eingetrocknet und lieferten 7,6 g trocknen Harn. Die Trockenbestimmung ergab für 15 ccm 0,8302 g,

---

1) Die Analyse des ganzen Thieres ergab eine Relation von N und C = 1 : 3,11, mit dieser Zahl hatte ich gerechnet; dieser Werth war etwas zu klein (um 5,8%), kam aber dem wirklichen Werthe (3,30) viel näher als die sonst verwendete Zahl 1 : 3,68, welche um 18% zu hoch ist.

2) S. oben S. 311.

sonach pro 150 ccm 8,302 g, es sind also 8,302 — 7,60 = 0,7 g an Harnstoff beim Trocknen zu Verlust gegangen.

Der auf Bimsstein getrocknete Harn war äusserst leicht zu verbrennen. Die Resultäte enthält die folgende Tabelle.

Tabelle über den bei Hunger entleerten Harn.

T	ta	tz	tz-ta	Str	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Verbrannte Substanz	1 g liefert also
15,8	15,771	20,037	4,266	+ 0,060	5,27	7,87	9447,3	9276,3	2347,3	4,0	586,8
15,8	15,880	20,095	4,215	+ 0,042	5,27	7,87	9339,8	9168,8	2298,7	4,0	574,6

Im Mittel also ergab sich für 1 g Harnbimssteinmischung

580,7 cal.

Als Oxydationsproducte des Stickstoffs traten auf:

0,069 NO_3H

0,062 NO_2H

und 0,076 Cu,

woraus sich für den calorischen Werth der Correctionen ableitet:

NO_3H = + 15,7 cal.
Cu = + 49,7 „
+ 65,4 cal.
NO_2H — 5,5 „
somit Gesammteffect = 59,9 cal.

Da das Mittel für

w_3 = 2323,0 cal.
— 59,9 „
so verbleiben 2263,1 cal. pro 4 g Harnbimssteinmischung, das ist für 1 g 565,8 cal.

Da nun im Ganzen 150 ccm Harn 37,6 g Harnbimssteinmischung lieferten, so ist die letzterer entsprechende Wärmemenge (37,6 × 565,8) = 21,274 Cal. und für zersetzten Harnstoff kommt hinzu (0,7 × 2523) = 1,766 Cal., so dass der gesammte Spannkraftsverlust durch den Harn gleich wird

21,274
+ 1,766
23,040 Cal.

150 ccm Harn enthielten 2,712 g N; sonach kommt auf einen Theil Stickstoff

8,495 Cal.

Nach der Trockenbestimmung enthielten 150 ccm Harn 47,29 g organische Substanz[1]), es entspricht 1 Theil organische Substanz einem Wärmewerth von

3101 cal.

Wir erhalten sonach folgenden Vergleich:

1 g (organisch) Fleischharn liefert 2954 cal.
1 " Hungerharn " 3101 "

Der Hungerharn liefert um 22,9 % mehr Wärme bei seiner Verbrennung als der Harnstoff und um 4,9 % mehr als der Fleischharn. Der Hungerharn enthält also nicht unwesentlich mehr an verbrennlichen Theilen als der Fleischharn; er steht aber letzterem viel näher als dem Harn nach reiner Eiweissfütterung.

Also auch dieses Verhalten des Harns bei hungerndem Thiere bestätigt unsere frühere Annahme, dass die Muskelsubstanz ein richtiges Bild von dem Organgemische gebe, das bei Hunger verbrennt. Die Verbrennungswärme des Harns beweist uns, dass nicht nur die Eiweissmoleküle zersetzt werden, sondern dass auch das Organextract mit ausgeschieden wird. Aber ein Unterschied besteht doch. Der Hungerharn ist dem Fleischharn wohl nahestehend, nicht identisch mit demselben.

Was ist die Ursache hiervon? Besitzt das Organgemische einen höheren Extractivstoffgehalt als das Muskelfleisch? oder zerlegt sich das Organgemisch anders als das Muskelfleisch?

Da zweifellos die Muskeln sich zum grössten Theil an der Lieferung des eiweissartigen Materials betheiligen, so müsste ein ganz abnormer hoher Gehalt an Extractivstoffen für die übrigen Organe angenommen werden, um das eben beschriebene Verhalten des Hungerharns zu zeigen. Ich bin daher eher geneigt anzunehmen, dass das im hungernden Thiere absterbende Eiweiss

1) 15 ccm geben 0,8302 g Trockensubstanz
0 0873 g Asche
0,7429 g organische Substanz.

andere Spaltungsproducte liefert (vielleicht qualitativ wie quantitativ) als das Muskelfleisch, welches nach durchgemachter Todtenstarre, durch die Verdauungssäfte gelöst, die Wege zur Zersetzung findet.

Die relative Menge der Stickstoff-Oxydationsproducte war keine beträchtliche.

Da 150 ccm Harn = 2,712 g N

entsprechen, aber 0,7 g Harnstoff beim Trocknen verloren

wurden = 0,326 „

+ 2,386 g N

so hinterbleiben als Stickstoffgehalt der Harnbimssteinmischung 2,386 g N = 37,6 g der Mischung, also 1 g = 0,063 g N und 4 g = 0,252 g N.

An Oxydationsproducten waren (ausgedrückt in N)

NO_3H = 15,3 mg N

NO_2H = 26,2 mg „

im Ganzen 35,3 mg N

erhalten worden, das ist 14,0 %; die Zahl ist gering, wenn man in Betracht zieht, dass nur wenig organische Substanz bei einem nicht geringen Ueberschuss stickstofffreier Körper verbrannt wurde.

37,6 g Harnbimssteinmischung gaben 7,6 g Trockensubstanz,

davon sind Asche 0,87 g

sonach organisch 6,73 g = 17,89 %.

4 g Harnbimssteinmischung sind also 0,7156 g organische Substanz; die Zusätze waren bei

1. 0,6086 g Naphtalin und 0,1000 g Rohrzucker,
2. 0,5993 g „ „ 0,108 g „ „

2. Die Verbrennungswärme des Kothes.

Da es meine Absicht war, ganz reines Material für die Verbrennungswärme zu erlangen, und das Sammeln von Hungerkoth lange Zeit erfordert wegen der geringen Ausscheidung desselben, so habe ich darauf verzichten müssen, directe Bestimmungen mit demselben anzustellen. Da aber allem Anschein nach der Hungerkoth eine dem Fleischkothe sehr ähnliche Zusammensetzung hat, so kann recht wohl auch der Verbrennungswerth des Fleischkothes dem Hunger-

kothe unterlegt werden. Die Ausscheidungsgrösse des letztern ist in ihrer Abhängigkeit zur Stickstoffausscheidung im Harn noch nicht näher untersucht, es ist aber zu vermuthen, dass die Verhältnisse dem bei Fütterung mit Muskelfleisch sehr ähnlich sein werden. Es würde daher auch die Kothmenge nach den für das Muskelfleisch gegebenen Werthen zu berechnen sein. Da die Correctur der physiologischen Verbrennungswärme mit Berücksichtigung des Kothes nur 2 — 3 % ausmacht, so kommen kleine Abweichungen vom wahren Werthe hierbei fast gar nicht mehr in Betracht, zumal zu bedenken ist, dass die bei Hunger aus Eiweiss stammende Verbrennungswärme kaum 10% der täglich producirten Wärme ausmacht.

c) Uebersicht über den physiologischen Wärmewerth der bei Hunger zersetzten Leibessubstanz.

Nach den vorstehenden Erörterungen sind wir berechtigt folgende Berechnung über den Wärmewerth der bei Hunger in den Organen verbrennenden eiweissartigen Substanz aufzustellen:

100 Theile Trockensubstanz entsprechen . . . . 534,5 Cal.

die Abfallstoffe sind { Harn 128,78[1] / Koth 16,83 } 145,61 . . . . 145,6 Cal.

so dass als Nutzeffect der trocknen Substanz verbleibt 388,9 Cal.

Berücksichtigt man auch die Quellung des Eiweisses und die Lösungswärme des Harns (unter dem früher schon gemachten Vorbehalte) so erhält man für beide 4,677 Cal.

Also hinterbleibt 388,9
4,7
384,2 Cal.

als physiologischer Nutzeffect. Bei der Verbrennung werden sonach nur gewonnen 71,9% und verloren 28,1%; bei Fleisch war erhalten worden 74,9% als Nutzeffect und 25,0% als Verlust.

Würde man die Berechnung angestellt haben unter Annahme, dass nur Harnstoff sich abtrennt, so hätte man erhalten 84,72% als Nutzeffect. Demnach zu viel um 17%.

Bezieht man die Wärmebildung der bei Hunger zersetzten Substanz auf den Stickstoffgehalt, so wäre für einen Theil in den Excreten auftretenden Stickstoffs **24,94 Cal.** zu setzen.

1) = 8,495 × 15,16.

Es ist hier am Platze noch kurz auf die Verschiedenheit der drei Harnsorten aufmerksam zu machen, welche in den vorstehenden Versuchen zur Verwendung kamen. Stellen wir die Werthe über die Verbrennungswärmen derselben zusammen, so erhalten wir folgende Zahlen:

Substanz	1g organisch liefert cal.	Harnstoff = 100
Harnstoff	2523	100
Harn nach Eiweissfütterung	2706	107
Harn nach Fleischfütterung	2954	117
Harn bei Hunger	3101	123

Der dritte Stab enthält relative Zahlen bezogen auf die Verbrennungswärme von 1g trocknen Harnstoff.

Die gleiche Stufenleiter, welche uns die Verbrennungswärmen zeigen, lässt sich auch darthun, wenn man den C-Gehalt des Harns untersucht. Es sind nicht die absoluten Zahlen, sondern die Relationen zwischen Stickstoff und Kohlenstoff des Harns angegeben; ich habe meinen Zahlen noch die von Voit[1]) schon früher gefundenen beigefügt:

Substanz	Es trifft auf 1 N an C nach meiner Analyse	Es trifft auf 1 N an C nach Voit	Auf N trifft an Wärmewerth in Cal.
Harnstoff (berechnet)	0,429	—	5,41
Harn nach Eiweissfütterung	0,532	—	6,69
Fleischharn	0,610	0,636	7,45
Hungerharn	0,728	0,746	8,49

Wie die Verbrennungswärme der Substanzen zunimmt, wächst auch der Kohlstoffgehalt derselben.

In der Tabelle wurde der Vergleiche halber noch aufgeführt, wie viel die verschiedenen Substanzen an Wärme bilden, bezogen wie der Kohlenstoffgehalt der Verbindung auf 1 Theil Stickstoff. Bildet man für die Stäbe 2 und 4 die relativen Zahlen, so ergibt sich eine ganz interessante Beziehung:

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 1 S. 147.

Substanz	Relative Zahlen für den Quotienten $\frac{C}{N}$	Relative Zahlen für den Quotienten $\frac{\text{Wärme}}{N}$
Harnstoff	100	100
Harn nach Eiweissfütterung	124	123
Fleischharn	142	138
Hungerharn	169	157

Der Verbrennungswerth der verschiedenen Verbindungen nimmt ebenso zu, wie der Kohlenstoffgehalt derselben.

Ausser der Verbrennungswärme auf trocknem Wege habe ich die verschiedenen Harne auf Bromlauge wirken lassen und die Wärmewirkung gemessen. Wie sich leicht darthun lässt, werden die Stoffe des Fleischextractes durch Bromlauge fast nicht angegriffen, die Zerlegung des Harnstoffs und ganz nahestehender Verbindung z. B. Ammoniak erfolgt aber leicht. Je mehr ein Harn an Harnstoff enthält, desto intensiver ist die Wärmebildung bei der Zerlegung mit Bromlauge. Natürlich muss man ein Maass besitzen, auf welches die Wärmeentwicklungen mit Bromlauge zurückgeführt werden kann. Ich wähle den N-Gehalt[1]) der verwendeten Lösungen hierzu. Die Wärmewirkungen sind die direct gemessenen ohne Abzug einer Correctionszahl.

Man erhält bei Zerlegung mit Bromlauge für 1 Theil Stickstoff folgende Wärmemengen ausgedrückt in Cal. (Mittel aus zahlreichen Bestimmungen):

Bei Fleischextract	1,869
Harn nach Fleischextractfütterung	4,425
Harn bei Hunger	5,470
Fleischharn	5,727
Eiweisfütterung	6,444
Harnstoff	7,05

1) Um Missverständnisse zu vermeiden, bemerke ich hier ausdrücklich, dass unter N-Gehalt der Lösung die directe N-Bestimmung nach Will-Varrentrapp

Auch diese Ergebnisse bestätigen die früheren Angaben und Betrachtungen über die Verschiedenheiten der einzelnen Harne und zeigen, zu wie mannigfaltigen Untersuchungen das Studium der Wärmeentwicklung von Harn mit Bromlauge dienen könne.

Ausser den eben angeführten Versuchen habe ich auch die nämlichen Harnsorten, welche zur Bestimmung der Verbrennungswärme nach Frankland gedient hatten, im kleinen Calorimeter mit Bromlauge zerlegt und ausserdem die Gasmenge gemessen, welche innerhalb dieser Zeit entwickelt wurde[1]). Dabei wurden folgende Werthe gefunden:

Substanz	Der durch Bromlauge entwickelte Stickstoff macht in % des nach Will-Varrentrapp gefundenen	Auf 1 Theil N nach Will-Varrentrapp werden Cal. frei	Auf 1 Theil N durch Bromlauge entwickelt werden Cal. frei
Hungerharn	73,34	4,97	6,8
Fleischharn	80,12	5,61	7,0
Eiweissharn	87,73	6,17	7,0

Je reicher der Harn an Harnstoff, ist desto grösser wird die Stickgasmenge, welche man durch Zerlegung durch Bromlauge erhält, desto bedeutender wird auch die Wärmeentwicklung mit Bromlauge. Da also beide Werthe mit einander parallel gehen müssen, so erhält man auch, wie Stab 4 zeigt, nahezu dieselben Quotienten.

10. Die Verbrennungswärme des Fettes.

Ausser der Kenntniss der Verbrennungswärme der eiweisshaltigen Stoffe ist für physiologische Untersuchungen namentlich noch die Verbrennungswärme des Fettes von besonderem Belange. Frankland hat für Ochsenfett 9069, Danilewsky 9462—10039 angegeben. Aus letzteren Zahlen war der Mittelwert 9686g pro 1g abgeleitet worden.

gemeint ist. Bezieht man die Wärmeentwicklung bromirter Laugen auf den dabei entwickelten Stickstoff, so erhält man nahezu dieselben Zahlen, was leicht verständlich sein dürfte.

1) Auf S. 304 ist bei Harnstoff 7,0 und bei Eiweissharn 6,17 zu lesen.

Die Triglyceride haben fast die nämliche Zusammensetzung:

Triolein 77,38% C, 11,76% H, 10,86% O,
Tripalmitin 75,93% C, 12,16% H, 11,91% O,
Tristearin 76,85% C, 12,36% H, 10,76% O,

und brauchen zur Oxydation fast die gleichen Mengen von Sauerstoff. Es ist daher von vorneherein wahrscheinlich, dass die Fette, welche Gemenge von Triglyceriden darstellen, sowohl die gleiche elementare Zusammensetzung zeigen werden, als auch in ihrem Verbrennungswerth nur unbedeutend differiren werden.

Zur Bestimmung des Verbrennungswerthes habe ich Schweinespeck ausgeschmolzen und dieses Fett sodann zu den Bestimmungen verwendet. Das Fett schmolz bei 43°, gehörte also zu den leicht schmelzbaren Schweinefetten. Nahezu 50% der Fettsäuren bestand aus Oleinsäure, die Reste Palmitin- und Stearinsäure.

Die Bestimmung der Verbrennungswärme ist mit mancherlei Schwierigkeiten verknüpft. Ohne Zusatz einer leicht verbrennlichen Substanz ist eine gleichmässige Verbrennung nicht herzustellen. Es entstehen bei Vermeidung eines Zusatzes öfters kurze Pausen bei der Verbrennung, dann geht es wiederum mit einem Stosse weiter. Wie mir scheint, rührt dies davon her, dass man auch bei Aetherzusatz nur schwer das Fett ganz gleichmässig zu vertheilen im Stande ist. Doch ist mir auch eine Verbrennung gelungen, welche ausser Fett nur eine geringe Menge Rohrzucker als Zündmasse beigemengt enthielt. In den übrigen Fällen habe ich unter Zusatz von Rohrzucker die Mischungen hergestellt. Das Fett wurde in einer warmen Reibschale unter Aetherzusatz in der Verbrennungsmischung vertheilt. Ich habe jedesmal beim Einströmen des Wassers in die Taucherglocke an den entweichenden Gasen einen schwachen Acroleingeruch wahrnehmen können.

Die erhaltenen Zahlen sind folgende:

Tabelle über das Schweinefett.

T	*ta*	*tz*	*tz-ta*	*Str*	ClK_1	ClK_2	w_1	w_2	w_3	Fett verbrannt	1 g Fett lief. cal.
18,1	16.686	19,509	2.823	−0,006	5,76	7,95	6191,5	6039,5	5000,5	0,5354	9339
17,9	16,095	20,042	3,947	+0,007	3,98	7,96	8644,4	8396,0	5125,0	0,5414	9464
19,5	17,159	20,705	3,546	−0,023	5,35	8,01	7722,9	7576,7	4869,7	0,5145	9464

Im Mittel gibt sonach 1g Schweinefett

9423 cal.

Der Werth ist höher als der von Frankland erhaltene, aber kleiner als der von Danilewsky. Stohmann[1]) hat für Schweinefett 9357 und 9375 angegeben, im Mittel also 9366; meine Zahl ist um 0,6% höher als seine.

Stohmann hat für die verschiedenartigsten Thiere den Verbrennungswerth bestimmt und Differenzen gefunden, welche 1,2% nicht überschreiten. Bei den folgenden Besprechungen wird überall meine Zahl 9423 zu Grunde gelegt werden.

Das Schweinefett enthielt 50% an Oelsäure; 1g Oelsäure liefert wie ich bestimmte 9334 cal.; für Stearinsäure wurde 9412, für Palmitinsäure 9224 gefunden (Stohmann); es hat sonach den Anschein, als ob die Verbrennungswärme des Fetts höher sei, als die der Fettsäuren, welche zusammentreten. Es hat darauf schon Rechenberg und neuerdings Stohmann aufmerksam gemacht.

In vorstehenden Abschnitten sind alle Anhaltspunkte betrachtet, welche für Untersuchungen über Wärmebildung von Bedeutung sein können. In beistehender Tabelle wurden die erhaltenen Resultate, soweit sie häufiger bei den folgenden Besprechungen in Frage kommen, eingetragen.

1g Substanz liefert in cal.

Substanz	Trockne Substanz cal.	Aschefreie Substanz cal.	Physiolog. Nutzeffect der Substanz in cal.	Der Nutzeffect beträgt in % des Bruttowärmewerthes	Auf 1 Theil Stickstoff trifft Wärme Cal.
Eiweiss	5754	5778	4424	78,6	26,66
Muskel	5345	5656	4000	74,9	25,98
Bei Hunger zersetzte eiweissartige Substanz	—	—	3842	71,9	24,94
Hämoglobin	5949	—	—	—	—

1) a. a. O. S. 565.

Substanz	Trockne Substanz cal.	Asche-freie Substanz cal.	Physiolog. Nutzeffect der Substanz in cal.	Der Nutzeffect beträgt in % des Bruttowärmewerthes	Auf 1 Theil Stickstoff trifft Wärme Cal.
Fett	—	9423	—	100	—
Harnstoff	—	2523	—	—	5,41
Eiweissharn	—	2706	—	—	6,69
Fleischharn	—	2954	—	—	7,45
Hungerharn	—	3101	—	—	8,49
Eiweisskoth	5722	6852	—	—	—
Fleischkoth I	4864	6127	—	—	—
Fleischkoth II	4824	6510	—	—	—

(Schluss folgt.)

Berichtigung

von

B. Naunyn in Königsberg.

Simanowsky sagt in seiner Arbeit im vorigen Hefte dieser Zeitschrift: „Naunyn experimentirte an einem kleinen Hunde, dem täglich die gleiche Menge Pferdefleisch gereicht wurde. Nach einem dreistündigen Dampfbade, bei welchem die Körpertemperatur des Thieres von 38,8 auf 42,5 gestiegen war, wurde eine Zunahme der täglichen Harnstoffmenge von 6,7 auf 9,76 (nach Liebig's Methode bestimmt) bemerkt. Da aber nur ein einziger Versuch gemacht wurde und auch andere Bedingungen, welche zur Erhaltung richtiger Resultate nothwending sind, nicht eingehalten wurden, so kann man auch diesem Versuche keine entscheidende Bedeutung in der vorliegenden Frage zuerkennen."

Ich muss mein Bedauern darüber aussprechen, dass Simanowsky jene anderen Bedingungen nicht nennt.

Ferner muss ich bemerken, dass mein zu dem in Rede stehenden Versuche benützter Hund 17,8 ^{kg} wog, und dass die Steigerung der Harnstoffausscheidung von 6,7 auf 9,76 sich nicht auf die tägliche Harnausscheidung bezieht, sondern auf die Harnausscheidung von 10 Uhr vormittags bis 4 Uhr nachmittags, nicht auf 24 Stunden wie Simanowsky sagt, sondern auf 6 Stunden, wie in meiner Arbeit ganz deutlich zu lesen ist.

Calorimetrische Untersuchungen.

Von

Dr. Max Rubner.

(Aus dem physiologischen Institute zu München.)

II.

11. Resultate.

Die Angaben, welche die methodische Technik betreffen, sind schon früher bei Besprechung der Verbrennungswärme der einzelnen Verbindungen gemacht worden. Auf diese komme ich hier nicht weiter zurück. Man kann aber von den Ergebnissen der Untersuchung noch weiteren mannigfachen Gebrauch machen. Es sollen dieselben hauptsächlich nur verwerthet werden, soweit sich aus denselben Folgerungen für die Wärmelehre, bezw. den Kraftwechsel ergeben: dahin gehört zunächst die Frage inwieweit die einzelnen Nahrungsstoffe Kräfte zu liefern im Stande sind, die Grösse des menschlichen Kraftwechsels unter verschiedenen Lebensbedingungen und die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Verbrennung.

Auch für die Ernährungslehre werden diese Untersuchungen von Bedeutung sein, da der Stoffwechsel für viele Fragen der Kenntniss des Kraftwechsels nicht entbehren kann.

So kann die principielle Frage: ist der Stoffwechsel unter diesen oder jenen Bedingungen gesteigert oder nicht, niemals beantwortet werden, ohne die im Organismus zersetzten Stoffe in das Kraftmaass überzuführen[1]), aber nicht allein für den Menschen oder die höheren

1) Rubner, Die Vertretungswerthe der hauptsächlichsten organischen Nahrungsstoffe im Thierkörper. Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 313 ff.

Thiere ist die Kenntniss von den Kraftvorräthen der zur Zersetzung gelangenden Verbindungen von Bedeutung, sondern ganz allgemein für die Organismen.

Die Bestimmung des Kraftwechsels bietet das einzige durchweg verwendbare Maass für Lebensprocesse. Allerdings sieht man zumeist, wo energische Lebensprocesse vor sich gehen, mit diesen verbunden eine Sauerstoffzehrung eintreten. Aber es sind längst Verhältnisse bekannt geworden, welche wesentlich von diesen Vorgängen mit Sauerstoffzehrung verschieden und doch Lebensprocesse sind.

Nach Nägeli's Untersuchungen kann der freie Sauerstoff bei gewissen Pilzen entbehrt werden, wenn eine reichliche Gärthätigkeit vorhanden ist und für eine Entfernung der Zersetzungsproducte (Gärproducte) gesorgt wird. Diese Lebewesen erhalten also keine Spannkraft aus oxydativen Spaltungen, sondern nur durch Spaltung complicirter Verbindungen in solche einfacherer Zusammensetzung z. B. durch Spaltung von $C_6H_{12}O_6$ in $CO_2 + 2\,C_2H_5OH$. Die calorimetrischen Untersuchungen haben nun gezeigt, dass Vorgänge der letzten Art nicht geeigenschaftet sind, intensive Kraftquellen zu bilden; denn man hat für den angeführten Process nur eine positive Wärmetönung von 67000 Cal.[2]), während die oxydative Spaltung 709000 Cal. zu liefern im Stande ist. Die Gärthätigkeit hat nur 9,4% der Kraft frei gemacht, welche bei oxydativer Spaltung ausgelöst werden kann. Man begreift also auch, wie es kommen kann, dass eine relativ geringe Menge von Lebewesen (oder bei höheren Organismen ein relativ kleines Organ) grosse Wirkungen zu entfalten im Stande ist, denn setzen wir den Fall, dass der nämliche Pilz unter zwei Bedingungen in sauerstofffreier und in sauerstoffhaltiger Nährlösung zu existiren vermöge, so wird derselbe bei einer Gärthätigkeit elfmal soviel an Substanz zerlegen, als bei completer Oxydation nöthig ist.

---

1) Theorie der Gärung 1879 S. 69.

2) Rechenberg, Journ. f. prakt. Chemie Bd. 22. Die Zahlen sind, wie neuestens Stohmann nachweist, etwas zu hoch; an der Schlussfolgerung ändert sich durchaus nichts.

Die Gärung stellt also bloss einen speciellen Fall des Lebens dar und beweist gleichfalls, dass allein die Kraftübertragung Quelle des Lebens ist.

Die Sauerstoffzehrung bei höheren Thieren und Pflanzen oder bei Spross- und Spaltpilzen (unter geeigneten Bedingungen) verfolgt nur den Zweck, die in dem Nahrungsstoff angehäufte Spannkraft möglichst auszunützen[1]). Die Messung des Kraftverbrauchs eines Organismus nach einem für Kräfte tauglichen Maass ist also auch ein Maassstab für seine Lebensprocesse. Die Bestimmung des calorischen Werthes der Nahrungsstoffe hat dieselbe Bedeutung für die Ernährungslehre, wie eine genaue Gewichtsbestimmung für die chemische Analyse.

Wir stellen uns im Folgenden nur die Aufgabe, den Kraftwechsel der höher stehenden Organismen kennen zu lernen und zwar solcher, welche oxydative Spaltungen in vorwiegendem Maasse ausführen. Die Spaltungsproducte der verarbeiteten Stoffe sind dabei zum grossen Theil höchst einfache, indem Kohlehydrate und Fette vollständig in mit Sauerstoff gesättigte Verbindungen übergehen, und nur die Eiweisskörper neben den gleichen genannten Verbindungen noch ein an eine Gärthätigkeit erinnerndes Product, welches einer weiteren oxydativen Spaltung fähig ist, den Harnstoff (neben andern ähnlichen Körpern) liefern. Wir betrachten zunächst inwiefern die Nahrungsstoffe Quellen für Spannkraft sein können.

1. Ueber die Energievorräthe der Nahrungsstoffe.

Die Nahrungsstoffe in ihrer ausserordentlichen Mannigfaltigkeit zu besprechen kann nicht wohl die Aufgabe sein[2]). Für die physiologische Betrachtung ist ein grosser Theil derselben gar nicht von Belang, weil die täglich eingeführte Menge mancher Stoffe nur

1) Es kommen übrigens auch bei den höheren Organismen Processe vor, welche mit Gärungsvorgängen, soweit wir jetzt beurtheilen können, identisch sind. S. Rubner, Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Respiration des Muskels, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1885 S. 38 ff.

2) Für eine grosse Reihe derselben hat Stohmann (Landwirthschaftliche Jahrbücher 1884 S. 513 ff.) genaue Bestimmungen der Verbrennungswärme mitgetheilt.

gering ist, oder weil sie überhaupt nur in geringen Mengen eingeführt werden können, ohne schädliche Nebenwirkungen zu entfalten[1]). Wir müssen uns auf die wichtigsten beschränken, für welche auch die calorimetrischen Angaben in dem Vorstehenden niedergelegt sind.

Wir wenden uns zunächst der Untersuchung der Eiweisskörper zu, weil die letzteren wesentlich zur Unternehmung dieser Arbeit Veranlassung gegeben haben, indem ihr physiologischer Nutzeffect ganz ungenügend bekannt war. Bezüglich ihres Werthes als wärmespendende Mittel hätten wir ihnen diesen Vorrang nicht einzuräumen, wie wir gleich vorausschicken können. Man hat, befangen von der Wichtigkeit, welche die Eiweisskörper für den Aufbau der Organe haben, von jeher denselben im Allgemeinen auch eine grössere Bedeutung für die Oekonomie des täglichen Stoffwechsels beigelegt, aber ganz mit Unrecht[2]).

Die calorimetrischen Versuche haben zunächst erwiesen, dass bei Betrachtungen des Wärmewerthes der Eiweisstoffe im Wesentlichen auf die Abfallstoffe Rücksicht genommen werden muss, da alle übrigen Berechnungen auf unrichtiger Basis beruhen und zu bedeutenden Ueberschätzungen des wahren Wärmewerthes derselben führen müssen.

Würde man die Verbrennungswärme des Syntonins unter der Annahme berechnen, es spalte sich nur Harnstoff (trocken) ab, so erhielte man für 100 g

485,9 Cal.,

indes der wahre physiologische Verbrennungswerth ist:

442,4 Cal.

Desgleichen erhielt man bei dem Muskelfleische nach erster Annahme

450,8 Cal.

während doch der wahre Verbrennungswerth

400,0 Cal.

beträgt.

---

1) Z. B. das Glycerin.

2) Vgl. Rubner, Vertretungswerthe etc. S. 391.

Das sind also so beträchtliche Unterschiede, dass die Unkenntniss derselben die wichtigsten Beziehungen zu verdecken im Stande ist.

Im Gegensatze zu diesen neu festgestellten Angaben über den Wärmewerth der Eiweissstoffe und verwandter Gemische, stehen einige ältere Angaben, welche geradezu exorbitante Wärmewerthe für die ersteren ergeben. So berechnete z. B. M. Traube[1]) nach eigenartigen Voraussetzungen die Verbrennungswärme des Eiweisses im Organismus (nach Abzug der Harnstoffelemente) zu

5520 Cal. pro 1g,

das ist also rund um 24% zu hoch!

Traube geht nämlich von der Thatsache aus, dass die calorimetrischen Thierversuche von Dulong und Depretz eine Wärmemenge geben, welche mit der aus dem verbrannten C und H gerechneten nicht stimmt, und nimmt an, es müsse demnach der C im Organismus verbrennend eine grössere Wärmemenge liefern als Favre und Silbermann gefunden haben (8080; er nimmt nun 9600 cal. pro 1g C an). Diese Annahme ist, worauf auch Danilewsky aufmerksam macht, unzulässig. Der eigentliche Grund wird sich später aus den Besprechungen der von Lavosier geübten Berechnungsmethode der Verbrennungswärme organischer Verbindungen ergeben.

Nur wenig niedriger sind die Angaben Danilewky's[2]) für die Eiweissstoffe; er berechnet für thieriche Eiweissstoffe als physiologischen Nutzeffect

5070 cal. pro 1g,

bei pflanzlichen

5300 — 5400 cal.

Während bei Traube offenbar die Art der Berechnung eine unzulässige ist, hat sich aus meinen und Stohmann's Versuchen ergeben, dass die Werthe Danilewsky's auf methodischen Ungenauigkeiten beruhen.

---

1) Virchow's Archiv Bd. 29 S. 414; s. auch Zuntz, Landwirthschaftliche Jahrbücher 1879 S. 71 ff.

2) Pflüger's Archiv Bd. 30 S. 182 — 183.

Wie nun diese Angaben Traube's und Danilewsky's über den physiologischen Verbrennungswerth des Eiweisses und verwandter Substanzen sämmtlich zu hoch ausgefallen sind, so ist auch die Annahme Danilewsky's, dass C und H der Eiweisskörper im thierischen Organismus weit mehr Wärme liefern sollen, als bei ihrer Verbrennung im freien Zustande nicht mehr zulässig[1]). Es beruht diese Annahme auf den zu hohen Verbrennungswärmen Danilewsky's für Eiweiss und dann ausserdem auf einer zu geringen Verbrennungswärme des Harnstoffs. Da die ersteren unrichtig sind, muss auch die Schlussfolgerung fallen.

Es lässt sich auch leicht an einem Beispiel darthun, dass C und H im Eiweissmoleküle weniger Wärme liefern, als wenn sie frei verbrennen; mit anderen Worten die Bildungswärme des Eiweisses ist positiv. Ich wähle, um dies zu zeigen, das Muskelfleisch.

Die Zusammensetzung des trockenen Muskels ist:

C	50,5
H	7,6
N	15,4
O	20,97
Asche	5,5.

Daraus berechnet sich für 1g Muskelsubstanz als Bildungswärme:

$$\begin{array}{lr} C\ (0{,}505 \times 8080) & = 4080 \\ H\ (0{,}076 \times 34462) & = 2619 \\ \hline & 6{,}699\ \text{Cal.,} \end{array}$$

während für 1g trocknes Muskelfleisch gefunden wurde 5376 cal., also

$$\begin{array}{r} 6{,}699 \\ 5{,}376 \\ \hline \end{array}$$

die Bildungswärme ist + 1,323 Cal. d. h. positiv.

Man könnte nun einwenden, dies beweise nichts, da diese positive Wärmetönung gerade auf die Abfallsproducte kommen

---

1) Danilewsky hält es für wahrscheinlich, dass bei der Bildung des Eiweisses Wärme gebunden wird, eine Erscheinung, welche ein Analogen in den Cyanverbindungen fände a. a. O.

kann; indes für die eigentliche wirksame Gruppe des Eiweisses (den N-freien Rest) eine negative Wärmetönung bliebe.

Für den Harn hat man als Zusammensetzung:

C	25,2
H	6,6
N	37,9
O	30 7
	100,4,

also erhält man als Wärmewerth der Elemente für 1g:

C = 2,04
H = 2,27
Summe = 4,31 Cal.

Da nun die directe Bestimmung der Verbrennungswärme 1g organisch des Fleischharns 2954 cal. ergab, so bleibt als Bildungswärme des Harns:

4,31
— 2,95
+ 1,36 pro 1g.

Da aber 1g Muskel nur 0,382g organische Bestandtheile des Harns liefern, so trifft auf diese (0,382 × 1,36) + 0,519 Cal. als Bildungswärme.

Was endlich den Koth anlangt, so hat man für diesen als Zusammensetzung:

C	62,05
H	9,24
N	9,26
O	19,45.

Die Verbrennungswärme der Elemente ist pro 1g organische Substanz:

C 5,014
H 3,184
8,198.

Die directe Bestimmung der Verbrennungswärme hatte aber ergeben 6,127 Cal., so dass als Bildungswärme bleibt:

8,198
6,127
+ 2,071 Cal.[1])

Indem aber 1 Theil Muskel nur 0,027 organische Kothbestandtheile liefert, so beträgt die auf letzteren treffende positive Bildungswärme nur

0,0567 Cal.

Es trifft demnach im Ganzen auf die Abfallstoffe (Harn und Koth) als Bildungswärme:

+ 0,519
+ 0,057
+ 0,576.

Da aber die Bildungswärme von 1g Muskelsubstanz, wie gezeigt worden ist . . . . 1,349 Cal. beträgt, so bleibt nach Abzug der Bildungswärme der Abfallstoffe . . . . 0,576 „
+ 0,773 Cal.

als positive Bildungswärme für den stickstoffreien Rest. Es ist also unwiderleglich dargethan, dass die Annahme C und H des Eiweisses vermöchten im Organismus mehr Wärme zu liefern, als bei ihrer Verbrennung in freiem Zustande, keine experimentelle Stütze findet. Das Gleiche liesse sich wie hier für den Muskel auch für das Syntonin zeigen.

Diese Thatsache an sich stände aber durchaus nicht im Widerspruche mit der Meinung Pflüger's, dass das lebende Eiweiss einen wesentlich höheren Spannkraftvorrath habe als todtes. Was eben von mir erörtert wurde, gilt für „todtes Eiweiss“; für Eiweiss, welches wir geniessen. Es kann meines Erachtens aber auch dem lebenden Eiweiss mit Bestimmtheit kein wesentlich höherer Verbrennungswerth zukommen; wenigstens scheint eine bereits früher von mir gefundene Thatsache darzuthun, dass die im Hungerzustande zerfallende Organsubstanz gerade wie gefüttertes Muskel-

1) Die einzelnen Stoffe, welche den Koth bilden, können natürlich positive wie negative Bildungswärmen haben; die Summe aller aber ist positiv.

fleisch Fett zu ersparen im Stande ist, woraus auch entnommen werden kann, dass beide den nämlichen Spannkraftwerth besitzen. Es muss aber doch hervorgehoben werden, dass die Uebereinstimmung beider nur in dem Sinne gilt, dass die Schärfe unserer Untersuchungsmethoden nicht gestattet, die feinsten Unterschiede darzuthun. Man kann jawohl nicht bezweifeln, dass abgesehen von der Wahrscheinlichkeit chemischer Differenzen zwischen lebendem und todtem Eiweiss, gewiss auch die physikalische Verschiedenheit beider so bedeutend ist, dass Unterschiede im Spannkraftvorrath vorhanden sein müssen. Nachweisbar ist es aber für uns nicht und ausserdem können die Verschiedenheiten nur solche sein, dass sie durch die Fehler unserer jetzigen Untersuchungsmethoden eben gedeckt werden.

Man hat nun weiters geglaubt, dass die hohen Zahlen Danilewsky's für die Eiweissstoffe noch keineswegs die Wärmemenge bezeichneten, welche aus Eiweiss in einem Organismus wirklich entstehen kann.

Während fast alle Autoren angenommen haben, dass zum mindesten der Harnstoff als Abspaltungsproduct des Eiweisses anzusehen sei, hält Danilewsky diese Betrachtungsweise für unzulässig, er sagt[1]: „Es wurden in letzter Zeit sehr wichtige Angaben beigebracht, welche für eine synthetische Bildung des Harnstoffs im Organismus aus Carbaminsäure und Ammoniak sprechen. Unter dieser Annahme lässt sich denken, dass die Spannkräfte des Eiweisses im Organismus in noch grösserem Umfang utilisirbar sind als bis jetzt angenommen wird, weil die Wärmemenge, welche bei der Verbindung der genannten Componenten des Harnstoffs vermuthlich gebunden wird, nicht vom Eiweiss, sondern auch aus anderen Quellen herrühren kann."

Die Carbaminsäure ist aber doch auch stickstoffhaltig und stammt als solche vom Eiweisse ab? Ich muss also wohl annehmen, Danilewsky meine, es stamme nur das NH_3 vom Eiweisse, die CO_2 aber aus anderer Quelle, so dass man hätte

$$CO_2 + 2\,NH_3 = CO_2N_2H_3.$$

1) a. a. O. S. 184.

Diese Art der Harnstoffbildung bringt keineswegs eine höhere „Utilisirung" der Spannkräfte des Eiweisses mit sich, wenn die CO_2 etwa nicht vom Eiweisse abstammt.

Man hat für die Gleichung $CO_2 + 2NH_3 = CO_2N_2H_6 + 37700$ cal.[1]) als Bildungswärme gefunden; die Utilisirung ist demnach grösser, wenn die CO_2, welche aus den Eiweisskörpern sich abspaltet, Gelegenheit findet Harnstoff zu bilden. (Die Umwandlung von $CO_2N_2H_6$ in $CON_2H_4 + OH_2$ verläuft wahrscheinlich mit unbedeutender thermischer Wirkung.)

Die Art der Harnstoffabspaltung bleibt, wenn auch die Anschauung Danilewsky's als unzulässig erkannt ist, in anderer Hinsicht von Bedeutung, wenn es sich um die Topographie der Kraftentbindung aus Eiweiss handelt und die Anschauung über die chemische Zusammensetzung und den Wärmewerth des stickstofffreien Restes stehen damit in enger Beziehung; welcher Art, das soll später erörtert werden.

Es gibt aber stickstoffhaltige Zersetzungsproducte, welche zum grossen Theile nicht aus Gruppen des Eiweisses gebildet sind, z. B. die Hippursäure.

Wenn nun auch die vorliegenden Thatsachen und angeführten Gründe nichts dafür beweisen, dass die Verbrennungswärme des Eiweisses im Organismus einen höheren Wärmewerth habe, als die calorimetrischen Versuche ergeben haben, so will ich doch auf eine Kraftquelle aufmerksam machen, welche allen Stoffen gemeinsam zukommt, und welche local eine Wirkung zu entfalten im Stande ist, wenn schon im Grossen und Ganzen sie nicht bemerkbar sind.

Bei der Zersetzung der Nahrungsstoffe an den Zellen handelt es sich um ganz andere Verhältnisse, als sie an einem Calorimeter realisirt sind. Wenn wir zunächst davon absehen, dass im Momente der Zerlegung nicht

1) E. Lechner, Wiener Akad. Berichte (2. Abth.) Bd. 78 S. 711 ff.

alle Energie in Wärme übergeführt zu werden braucht, weil es sich zunächst ja um Uebertragung von Spannkraft auf die Zelle, um Dislocationen von Atomen oder Atomgruppen handelt, welche der statische Ausdruck des Lebens sind, so kehrt doch bald die räumliche Anordnung der Atome in den Zustand zurück, der vor der Zerlegung der verbrennlichen Substanz vorhanden war und mit dieser Rückkehr des Systems zur anfänglichen Ordnung tritt die Wärme auf. Hieraus ergibt sich also auch, dass die lebende Substanz einen rasch wechselnden Spannkraftvorrath besitze. Doch dürfte, wie aus anderen Thatsachen geschlossen werden muss, die Grösse dieser variablen Kraft, verglichen mit dem wirklichen Verbrennungswerth des lebenden Eiweisses eine nahezu verschwindende sein[1]).

Wir wollen nun annehmen, die zeitliche Reihenfolge der vorgenannten Processe sei eine äusserst rasche. Wir können dann behaupten, dass die im Momente der Zerlegung frei werdende Wärme an verbrennlicher Substanz, mehr betragen muss, als die direct gefundenen Verbrennungswärmen, weil die CO_2 nicht frei als Gas auftritt, sondern zunächst an Alkali bezw. CO_3Na_2 gebunden wird. Die bei der Bindung der CO_2 auftretende Wärme ist gar nicht unbedeutend.

Nehmen wir an, die Bindung der CO_2 entspricht etwa dem Verhältnisse, welches CO_3NaH[2]) zeigt, so hätte man für den Vorgang etwa folgende Gleichung:

$$CO_3Na_2 \text{ (gelöst)} + H_2O \text{ (flüssig)} + CO_2 \text{ (Gas)} = 2\,CO_3NaH \ .$$

und dieser Umsetzung entspricht eine Wärmeentwicklung von

$$+ 19\,960 \text{ cal.}$$

Wenn wir die Wärmebildung auf die CO_2, welche dabei gebunden wird, beziehen wollen, so erhält man pro 1 Molekül $CO_2 = 44^g +$ 19960 cal. Man erhält also pro 1^g CO_2 + 453,6 cal.

1) Es ist dies nicht zu verwechseln mit der oben auf S. 345 erörterten Frage.

2) Naumann, Thermochemie S. 487 ff.

Um eine Vorstellung von der Grösse des Einflusses zu geben, welche durch die Absorption der CO_2 entstehen kann, nehmen wir an es werde Fett oxydirt.

100g von diesem bilden 280g CO_2 und liefern im Calorimeter 942,3 Cal., wird dagegen sämmtliche aus Fett entstehende CO_2 absorbirt, so hätte man durch die Neutralisation der CO_2 erhalten:

$$(280 \times 453,6) = 127,0 \text{ Cal.}$$

so dass die Verbrennungswärme des Fetts sich dadurch erhöhen würde um

$$\begin{array}{r} 942,3 \\ 127,0 \\ \hline 1069,3 \text{ Cal.,} \end{array}$$

das wäre ein Wärmezuwachs um + 13,5 %[1]).

Nun darf man daraus nicht ableiten wollen, dass die Verbrennungswärme der Stoffe im Thierkörper grösser sei als dieselbe im Calorimeter gefunden wurde. Denn dieser Process der Neutralisirung macht sich ja wieder in entgegengesetztem Sinne durch eine Wärmebindung geltend, wenn die CO_2 in der Lunge das Blut verlässt. Der umgekehrte Vorgang wird sonach eine Wärmebindung von — 127,0 Cal. herbeiführen.

Diese bedeutende Wärmebindung wird aber nicht stets in der Lunge bezw. in den Lungengefässen nachweisbar sein, weil neben der CO_2-Bindung und -Zerlegung in den Capillaren der Lunge und in den Capillaren der Organe ein entgegengesetzter Process stattfindet: die Bildung von Oxyhämoglobin in den Lungengefässen und die Desoxydirung zu Hämoglobin in den Organcapillaren. Der erstere wird, wenn es auch bisher noch nicht constatirt ist, unter Wärmeerzeugung, der letztere Process unter Wärmebindung verlaufen. Ueber die Grösse dieser Processe kann man sich aber noch nicht äussern. Wenn man aus den Bestimmungen der Temperatur des rechten und linken Herzens einen Schluss ziehen dürfte (das

1) Auf ähnliche Weise berechnet erhielte man pro 1g Rohrzucker 4669 cal. und pro 1g trocknes Muskelfleisch 4651 cal.

linke Herz hat meist eine etwas niedrigere Temperatur als das rechte Herz), so würde die Wärmebindung durch die CO_2-Abgabe überwiegen. Die Untersuchungen Heidenhain's[1]) lassen es aber fraglich erscheinen, aus der Differenz der Temperatur beider Kammern einen Schluss auf Wärmeänderung, welche durch den Lungenkreislauf bedingt wären, zu ziehen. Da die verschiedenen Nahrungsstoffe bei ihrer Verbrennung verschiedene respiratorische Quotienten liefern, so sind die Wärmetönungen der einzelnen Processe bei verschiedenen Stoffen verschieden.

Die Neutralisationswärme der Kohlensäure kann also local und momentan die Verbrennungswärme einer Substanz grösser werden lassen, als die Bestimmung bei Verbrennung in einem Calorimeter sie ergeben. Dieser Ueberschuss an Wärme wird aber bald abgeführt.

Wie vertheilt sich bei den Eiweissstoffen die zu Verlust gehende Spannkraft auf die Abfallstoffe? Für die drei von mir näher untersuchten Fälle ergeben sich folgende Zahlen:

Tabelle Nr. I.

Substanz	100g gequollen liefert an Cal.	Im Harn[2]) an Cal.	Im Koth an Cal.	Im Harn findet sich in %	Im Koth findet sich in %	Summe des Verlustes in %
Eiweiss	572,6	111,60	18,54	19,5	3,2	22,72
Muskelsubstanz	531,8	114,93	16,83	21,6	3,1	24,77
Bei Hunger zersetzte Organbestandtheile	531,8	130,77	16,83	24,6	3,2	27,75

Die vorstehende Tabelle zeigt, dass die angeführten Eiweissstoffe und eiweissartigen Gemenge den wesentlichsten Verlust durch die Abtrennung der Harnbestandtheile erleiden. Derselbe ist, wie

1) Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 4 S. 558.

2) Mit Berücksichtigung der Lösungswärme.

schon früher auseinandergesetzt worden ist, verschieden, weil bei dem Muskel neben den aus dem Eiweiss sich abspaltenden Producten, noch die Extractivstoffe in den Harn übertreten und der Verlust ist besonders hoch bei der im Hungerzustand zersetzten eiweissartigen Substanz, weil die Zerlegung der betreffenden Eiweisskörper zweifellos etwas anders erfolgt, als wenn die Stoffe durch den Darm zugeführt worden wären. Der Verlust an Spannkraft durch den Koth ist bei allen fast gleich zu nennen.

Es kann keinem Zweifel unterworfen sein, dass andere Eiweisskörper, wenn sie in den Organismus gebracht werden, je nach ihrem Stickstoffgehalt und je nach den verschiedenen Bruttoverbrennungswerthen von den von mir untersuchten Körpern abweichende Verhältnisse zeigen werden. Kann man auch nur durch directe Versuche bei jeder Eiweisssorte den Antheil bestimmen, welcher an Spannkraft mit dem Harn verloren geht, so ist doch zu vermuthen, dass die Verbrennungswärme des Harns wohl nur wenig von dem abweichen werde, welchen ich bei Eiweissfütterung getroffen habe. Für den Koth wird die gleiche Annahme zutreffen.

Unter diesen Annahmen habe ich den physiologischen Verbrennungswerth folgender Eiweissstoffe, welche Stohmann[1]) näher untersucht hat, berechnet.

(Tabelle Nr. II siehe S. 351.)

Demnach unterscheiden sich die einzelnen Eiweisskörper in ihrer physiologischen Verbrennungswärme wesentlich. Der höchste Werth käme dem Syntonin mit 442,4 Cal. pro 100g zu. Das Minimum gibt ein pflanzlicher Eiweisskörper. Das Conglutin mit 396,9 Cal. pro 100g. Das sind also Differenzen von 10,7%. Ich habe von der bei Hunger zersetzten Substanz abgesehen, weil dieselbe mit 5,5% Asche in Rechnung steht.

Es hätte für uns grosses Interesse, zu erfahren, welche Gruppe von C, H und O bei der Spaltung des Eiweisses übrig bleibt, hat

1) a. a. O.

Tabelle Nr. II.

Substanz	Stickstoffgehalt in %	Verbrennungswärme von 1g trocken in cal.	Verloren in den Abfallstoffen u. durch Quellung etc.	Nutzeffect mit Berücksichtigung von Quellung u. Lösung	Verlust an Spannkraft in %[1]	Isodyname Werthe
Paraglobulin	15,6	5634	1263	4371	22,4	215
Eieralbumin	15,7	5577	1270	4307	22,7	219
Casein	15,2	5715	1311	4404	22,9	214
Syntonin	16,6	5754	1329	4424	23,2	213
Fibrin	16,6	5508	1329	4179	24,1	225
Fleisch[2])	15,4	5345	1345	4000	25,2	236
Conglutin	17,5	5359	1390	3969	25,9	237
Kristallis. Eiweiss	19,2	5595	1055	4090	26,8	230
Bei Hunger zersetzte Masse	15,4	5345	1503	3842	28,1	243

doch diese Gruppe den eigentlichen Energievorrath oder wenigstens weitaus den grössten Theil in sich vereinigt. Die Anschauungen über dieselbe sind sehr divergent. Es wird von einigen angenommen, dass sich ausschliesslich Zucker aus dem Eiweisse abspalte, von anderen dagegen, dass Fett entstehe. Für beide Annahmen kann man eine Reihe von Gründen anführen.

Was man bestimmt über den stickstofffreien Rest des Eiweisses angeben kann, ist, dass sein Wärmewerth nach meinen Bestimmungen kleiner sein muss, als 77,3 — 72,4 % des Bruttowärmewerthes des

1) Bezogen auf trockne Substanz. Auf S. 349 sind die Zahlen bezogen auf gequollene Substanz mitgetheilt worden.

2) Aschehaltige Substanzen.

Eiweisses und zwar deshalb, weil kaum zu bestreiten sein wird, dass eine wenn auch geringe Wärmetönung bei der Abtrennung von stickstoffhaltigen Gruppen eintrete[1]).

Es kann fraglich erscheinen, ob man von einem stickstofffreien Rest reden dürfe und ob nicht vielerlei entstehen; denn es ist ja sicher, dass nicht allerorts in den Geweben ein gleiches Schema der Zerlegung des Eiweisses eingehalten wird; die Spaltung von Eiweiss ist mit Sicherheit in der Leber z. B. anders als im Muskel[2]). Doch stört dieser Einwand nur wenig, da die Analyse des Harns uns darthut, dass wenigstens die weitaus grösste Menge des Eiweisses nach einheitlichem Schema zerfällt.

Wenn wir also auch diesen Einwand fallen lassen, so darf man doch nicht glauben, dass die Zusammensetzung des stickstofffreien Restes, der eigentlichen Kraftquelle, sich exact berechnen lasse, wenn man die Zusammensetzung des Eiweisses und die Elemente kennt, welche mit Harn und Koth ausgeschieden werden. Eine derartige Lösung wäre freilich eine interessante und würden sich manche weitere Fragen daran knüpfen.

Allein es mangelt für derartige Betrachtungen und Ueberlegungen an vielem. Zweifellos treten die Eiweisskörper nicht alle mit völlig intactem Spannkraftvorrath an die Zellen. Schon im Magen erfolgen Aenderungen des ersteren, indem die Micellverbände des gequollenen Zustandes in kleinere Micelle übergehen und ausserdem, wenn auch nicht in grosser Menge, Hydratationsproducte des Eiweisses geschaffen werden; wesentlicher sind vielleicht die Aenderungen, welche ein kleiner Theil des Materials im Darme erleidet. Wir wissen also nicht mit Bestimmtheit, wie geartet das eiweissartige Material ist, wenn es an die Orte seiner Verbrennung gelangt, sei es bezüglich seiner elementaren Zusammensetzung, sei es bezüglich des Kraftvorrathes.

1) S. auch Rubner, die Vertretungswerthe S. 395.

2) Differenzirungen in dieser Hinsicht sind selbst bei vielen niedrigen Organismen nachgewiesen; weder die Alkohol- noch die Milchsäuregärung verläuft nach dem gewöhnlich gegebenen Schema; es finden neben dem Hauptprocesse noch andere Nebenprocesse statt.

Die Erkenntniss der Zusammensetzung des stickstofffreien Restes hängt aber weiters unbedingt von der richtigen Theorie über die Harnstoffbildung ab.

Die einfachste Anschauung hat die alte Hypothese über die directe Abspaltung der im Harn entleerten Producte festgehalten. Freilich sind gegen dieselbe eine Reihe von Bedenken geltend gemacht worden, so dass sie fast ganz verlassen ist. Es ist aber auch noch keine andere als die allein richtige erkannt.

Sind nun auch allerwärts Hindernisse, welche ein genaues Erkennen des aus Eiweiss sich abspaltenden Restes erschweren, so hat es doch ein gewisses Interesse auch eine angenäherte Zahl zu besitzen, und in diesem Sinne möchte ich die folgende Rechnung betrachtet wissen.

Von 100 Theilen trocknen Syntonins gehen ab, 40,90g organische Bestandtheile mit dem Harn und 2,79g organische Bestandtheile im Koth, in Summe also

$$\begin{array}{r} 40{,}90 \\ 2{,}79 \\ \hline 43{,}69^{g}, \end{array}$$

so dass demnach von 100 Theilen trocknen Eiweisses 56,3 Theile und nach Abzug von 0,4g Asche 55,9g organische Bestandtheile übrig bleiben; d. h. nur 56% der organischen Bestandtheile des Eiweisses kommen für den Wärmewerth in Betracht.

Wenn bei der Abspaltung der Bestandtheile der Abfallstoffe keine Wärme verloren gegangen ist, d. h. alle effective Wärme des Eiweisses auf diesen Rest kommt, so liefert diese Substanz pro 1g

7900 cal.,

d. h. sie würde bezüglich ihres Wärmewerthes zwischen Fetten und Kohlehydraten stehen; vom Rohrzucker fast um das Doppelte abweichend, kleiner als die Verbrennungswärme des Fetts um 16%.

Wesentlich verschieden hiervon gestalten sich die Verhältnisse, wenn man zu jenen Theorien der Harnstoffbildung übergeht, welche primär andere Gruppen als Harnstoff sich abspalten lassen, weil dabei die Menge der aus Eiweiss sich abspaltenden organischen Stoffe, ohne dass deren Verbrennungswerth sich wesentlich ändert

bedeutend vermehrt wird, also die Menge des als stickstofffreier Rest hinterlassenen Stoffs bedeutend verringert wird.

Denn auf 1 Theil N trifft bei	Harnstoff	2,15g organ. Subst.
„ 1 „ „ „ „	Cyansäure	3,02g „ „
„ 1 „ „ „ „	carbamins. Amm.	2,78g „ „

Ich habe die betreffenden Verhältnisse mit Zugrundelegung dieser anderen Hypothesen durchgerechnet, doch glaube ich von derartigen Berechnungen absehen zu können, so lange noch bedeutende Lücken in der Kenntniss über die Spaltung vorliegen. Das eine aber sei erwähnt, dass die Annahme Salkowsky's ein stickstofffreies Product berechnen lässt, welches sowohl seiner elementaren Zusammensetzung, als seinem Wärmewerthe nach fast identisch mit Fett ist. Aehnliche Resultate ergibt die Hypothese Drechsel's.

Ist uns also auch ein ganz deutlicher Einblick in die Verhältnisse der Spaltung stickstoffhaltiger Körper versagt, so können wir doch das mit Sicherheit angeben, dass der stickstofffreie Rest ohne sehr wesentliche Aenderung seiner elementaren Zusammensetzung und seines Wärmewerthes mit den Fetten oder wenigstens einer Fettsäure übereinkommt, und dass seine Bildungswärme positiv ist. Jedenfalls muss der stickstofffreie Rest tiefgreifendere Aenderungen erleiden, wenn Zucker oder Glycogen aus ihm werden soll, als wenn ein den Fetten nahestehender Körper entstehen sollte. Im Uebrigen verweise ich nochmals auf die grossen Schwierigkeiten, welche einem Entscheid auf diesem Wege entgegenstehen.

In engem Zusammenhange mit der eben erörterten Frage, steht der vielfach schon ventilirte Versuch, zu entscheiden, wie viel Fett denn aus Eiweiss entstehen könne? Ich will auf diese Verhältnisse kurz eingehen, da sie mit ein paar Worten abzumachen sind und sich zeigen lässt, dass die bisherigen Annahmen nicht genau sind.

Wir haben oben dargethan, dass aus 100g Syntonin nur 442,4 Cal. als physiologischer Verbrennungswerth erhalten werden. Wenn es nun möglich wäre, alle Spannkraft bei chemischen Umsetzungen für entstehendes Fett zu gewinnen, was aber allen thermochemischen

Vorstellungen widerstreitet, so würde dieser Spannkraftvorrath ebenso gross sein, wie die Verbrennungswärme von 46,9g Fett.

Das ist also wesentlich weniger als man bisher anzunehmen pflegte und wir können mit Bestimmtheit sagen, dass dieser Werth zu hoch (vielleicht bis 10% und mehr) sein müsse.

Für das Muskelfleisch würde sich in gleicher Weise ergeben: 100 Theile Trockensubstanz liefern als physiologische Verbrennungswärme 400,0 Cal., woraus sich die maximalste (gewiss unmögliche) Fettbildung von 42,45% ergäbe.

Diese Zahl weicht bedeutend von den sonst üblichen Werthen ab, die man nach dem Vorgange Henneberg's berechnet hat. 100 Theile Eiweiss sollten nach ihm bekanntlich 51,5% Fett zu bilden im Stande sein. Diese neu gewonnenen Zahlen sind also für jene Fälle, in denen es sich um den Nachweis von Fettbildung aus Kohlehydraten und aus Eiweiss handelt, wohl zu beachten.

— — — —

Ich komme nun endlich, nachdem die wesentlichsten Betrachtungen über die Eiweisskörper beendigt sind, zur Feststellung in wie weit die einzelnen Nahrungsstoffe Quellen für die thierische Wärme bilden können. Dieselben sind bezüglich dieses Vermögens von sehr verschiedener Dignität. Folgende Gewichtsmengen sind, wenn sie nach der Gleichung, welche für die Warmblüter gilt, im Organismus verbrennen, im Stande, 1 Kilo Wasser von 0° bis 100° zu erwärmen[1]).

(Tabelle Nr. III siehe S. 356.)

Ich habe diese Stoffmengen isodyname Werthe genannt. Man kann im Wesentlichen drei Gruppen von Stoffen unterscheiden. Die Hauptklasse bedeutender Wärmequellen bilden die Neutralfette. Sie sind der vorzüglichste Reservestoff. Zur zweiten Gruppe von Körpern gehören die Eiweissstoffe und die Kohlehydrate, sie liefern beide ungefähr gleichviel Wärme; verglichen mit Fett aber nur die Hälfte, die dieses zu entwickeln vermag. Endlich wäre als dritte Gruppe Körper mit bedeutendem O-Gehalt zu erwähnen, wie z. B. die

1) Dieses Maass habe ich gewählt um die Nahrungsstoffmenge in ganzen Zahlen ausdrücken zu können.

Tabelle Nr. III.

Folgende Substanzmengen sind im Stande 1 Kilo Wasser von 0° auf 100° zu erwärmen:

Bezeichnung	In Gramm	Bezeichnung	In Gramm
Neutralfett	10,6	Milchzucker	25,8
Syntonin	22,6	Bei Hunger zersetzte Leibessubstanz	26,0
Glycerin	23,2	Traubenzucker	27,0
Stärke	24,3	Citronensäure	41,8
Rohrzucker	24,9	Weinsäure	57,3
Muskelfleisch	25,0		

Pflanzensäuren; ihr Wärmewerth ist sehr unbeträchtlich, kaum 1/4 — 1/5 des Wärmewerthes der Fette.

Da es für viele Zwecke wünschenswerth ist, einen Vergleich der einzelnen Nahrungsstoffe mit dem Fette, als dem Stoffe höchsten Energieinhalts, zu besitzen, so gebe ich hier noch die isodynamen Werthe, bezogen, auf 100 Theile Neutralfett. Die eingeklammerten Zahlen hat Stohmann aus seinen Bestimmungen der Verbrennungswärme gerechnet.

Tabelle Nr. IV.

100g Fett sind isodynam mit: (1g = 9423 cal.).

Bezeichnung	In Gramm	Bezeichnung	In Gramm
Syntonin	213 [1])	Milchzucker	243 (242)
Glycerin	219 (218)[1])	Bei Hunger zersetzte Leibessubstanz	245 [1])
Stärke	229 (228)	Traubenzucker	255 (254)
Rohrzucker	235 (237)	Citronensäure	394 (391)[2])
Muskelfleisch	235 (208)[1])	Weinsäure	540 (537)[2])

1) Vgl. Tabelle auf S. 351.

2) Nach Stohmann's Angaben gerechnet. Die absoluten Werthe sind für 1g:

Fett	9372	Traubenzucker	3692
Glycerin	4305	Citronensäure	2893
Stärke	4116	Weinsäure	1744
Milchzucker	3877		

Es differiren die Zahlen nur beim Muskelfleisch, hier allerdings um 12 %. Die Ursache hierfür liegt aber keineswegs in den Resultaten der calorimetrischen Bestimmung, als vielmehr in der Berechnungsweise. Stohmann hat nur die Verbrennungswärme des Harnstoffs von der Bruttowärme des Muskels abgezogen um die physiologische Verbrennungswärme zu erhalten; für meine Zahl aber ist der Verlust an Spannkraft für alle Abfallstoffe ermittelt worden. Wesentlich anders würde sich die Reihenfolge für die Nahrungsstoffe gestalten, wenn wir ihren Wärmewerth im natürlichen Zustand betrachten; man erhielte dann für 100 g frisch[1])

			Isodynamer Werth
Fett	942,3	Cal.	100
Rohrzucker	400,1	„	235
Brod	280,2	„	336
Fleisch	96,3	„	978
Milch[2]) (Kuh)	67,3	„	1400

2. Die Methodik der Berechnung des Kraftwechsels.

Die Kenntniss der wahren Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe befähigt uns unter verschiedenen Umständen und Lebensverhältnissen den Kraftwechsel von Organismen zu berechnen, was um so nothwendiger erscheinen muss, als selbst eine Reihe wichtiger Fragen auf direct calorimetrischem Wege noch nicht gelöst sind. So sind bis jetzt wenigstens die Bestimmungen der von dem Menschen abgegebenen Wärme zu kaum verwerthbaren Resultaten gelangt[3]). Die calorimetrischen Bestimmungen an Thieren aber sind zweifellos weit exacter[4]), aber wiederum nur wenig zahlreich. Im Allge-

1) Vgl. oben S. 333.

2) Nach den Mittelzahlen König's Bd. 2 S. 302:

3,41 Casein	= 15,02	Cal.	= 26,6 %
3,66 Fett	= 33,59	„	= 51,4 %
4,82 Milchzucker	= 16,69	„	= 22,0 %
	Summe 65,31.		

3) Vgl. Note 1 S. 358.

4) Dulong, Annal. de chim. et de phys. 1824. Depretz, ebenda 1843. Senator, Archiv f. Anat. u. Phys. 1872 u. 1874 und Untersuchungen über den fieberhaften Process etc. Berlin 1873.

meinen wird also hinfort auch den Berechnungen des thierischen Kraftwechsels noch das Feld offen bleiben; die Methoden der Berechnungen aber sind so mannigfache und ihre Fehlerquellen so verschieden, dass es nicht ohne Interesse sein wird, an der Hand der neu festgestellten Verbrennungswärmen auf die hauptsächlichsten einzugehen.

a) Die Methodik Lavoisier's.

Lavoisier hat nicht nur die Thesis aufgestellt, dass das Leben im Wesentlichen nur ein Verbrennungsvorgang sei, er hat sie auch bewiesen. Er hatte gefunden, dass mehr O von Thieren aufgenommen wird, als in der Kohlensäure wieder austritt und geschlossen, dass also neben Kohlenstoff noch Wasserstoff verbrennen müsse. Er hat weiters die Verbrennungswärme dieser Elemente bestimmt und zugesehen, ob in der That die von einem Thiere gelieferte Wärme die aus der Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff berechnete Wärme decke. Dabei ward also vollkommen ausser Acht gelassen, dass die mit Harn und Koth oder mit dem Wasserdampf der Athmung austretenden Verbindungen beim Uebergang in diese letzten Lagerungen oder bei ihrer Abspaltung Wärme geliefert oder gebunden haben konnten.

Die von Lavoisier gefundene und berechnete Wärmemenge deckte sich so weit, dass niemals weiter die Thatsache, die thierische Wärme stamme aus den Zersetzungsprocessen, in Zweifel gezogen wurde.

Wegen der nun schon Eingangs erwähnten grossen Schwierigkeiten für calorimetrische Versuche hat man das von Lavoisier zuerst angewendete Verfahren, die von einem Thiere producirte Wärme aus den Elementen C und H abzuleiten, oftmals verwendet und bis heute hat man es zur Berechnung der Wärmeproduction des Menschen allgemein benutzt [2]).

1) Scharling, Journ. f. prakt. Chemie 1849 Bd. 48; Vogel, Archiv des Ver. für wissenschaftl. Heilkunde; Hirn, Exposit. analyt. et expérim. de la théorie mécan. de la chaleur, Paris 1875.

2) Helmholtz, Encyclop. Wörterb. der med. Wissenschaft Bd. 35, Berlin 1846; Ludwig, Lehrb. Bd. 2 S. 747; Vierordt, Grundriss d. Physiol.; Danilewsky a. a. O. S. 175 ff.

Die Berechtigung dieser Methode ist aber — abgesehen von den unrichtigen Zahlen Lavoisier's für die Verbrennungswärme von Kohlenstoff und Wasserstoff — schon lange in Zweifel gezogen worden, nämlich seit durch die Bestimmungen von Favre und Silbermann die Verbrennungswärmen einer grossen Anzahl organischer Körper bekannt geworden sind. Ludwig [1]) namentlich hat in klarster Weise auf die Fehlerquellen der Lavoisier'schen Methode hingewiesen und mit Hilfe der Zahlen von Favre und Silbermann (wenn sich auch unter diesen fast keine Stoffe fanden, welche im Organismus vorzukommen pflegen) gezeigt, dass die Fehler nicht in eine Richtung fallen, sondern das wahrscheinlich bei der Verbrennung von Fetten zu hohe, bei der Verbrennung von Kohlehydraten zu niedrige Zahlen berechnet werden.

Nachdem wir aber nun einmal im Besitze zuverlässiger Wärmewerthe für Stoffe, welche in den Organismen verbrennen, sind, so kann man sich fragen, in welchem Grade die Zahlen, welche nach Lavoisier's Methode erhalten wurden, unrichtig sind? Wir wollen die drei wichtigsten Verbindungen: die Kohlenhydrate, Fett und Eiweiss in Betracht ziehen.

Für den Rohrzucker erhält man nach Lavoisier mit Zugrundelegung der Verbrennungswärme von 8080 cal. pro 1^g C und 34462 pro 1^g H (nach Favre und Silbermann).

Bei 42,1 % C, $0{,}421 \times 8080 = 3416$ cal. als Verbrennungswärme. Da im Uebrigen H und O zu Wasser zusammentreten, also kein wärmender Wasserstoff vorhanden ist, so stellt die Zahl **3416** den gesammten berechenbaren Wärmewerth dar. Nach meinen Bestimmungen liefert aber 1^g Rohrzucker **4001** cal.

Die Zahlen der directen calorimetrischen Methode sind also erheblich grösser, als die nach Lavoisier erhaltenen, nämlich um 17%; die Lavoisier'schen Zahlen sind kleiner als die directen um 15%.

Für die Fette erhält man mit Zugrundelegung der Zahlen von Schulze und Reineke:

100 Theile Neutralfett enthalten	76,5 C	12,0 H	11,5 O
$11{,}5^g$ O oxydiren H		1,4 H	
somit Rest, welcher zur Oxydation bleibt =	76,5 C	10,6 H.	

1) a. a. O. S. 737—738.

Diese liefern Wärme:

C 0,765 × 8080 = 6181
H 0,106 × 34462 = 3653
Summe = 9834 cal. pro 1g.

Die directe Bestimmung der Verbrennungswärme ergab 9423 cal. pro 1g; hier fällt also der Fehler in entgegengesetzter Richtung. Man erhält nach Lavoisier's Methode zu viel und zwar um 4,2%.

Als Beispiel eines eiweissartigen Körpers wähle ich das Muskelfleisch, weil es am häufigsten bei Berechnungen in Betracht kommen kann. Nach meinen Bestimmungen bleiben von 100 Theilen Fleisch nach Abzug der Elemente für die Abfallstoffe

übrig 39,2 C 4,8 H 9,5 O
9,5 O oxydiren 1,2
so dass verbleibt 39,2 C 3,6 H; wozu der Zutritt von Sauerstoff benöthigt wird.

Als Wärmewerth dieser Elemente ergibt sich:

C 0,392 × 8080 = 31674
H 0,036 × 34462 = 12406
Summe = **4408 cal.**

Die directe Bestimmung der Verbrennungswärme hat nur 4000 cal. pro 1g ergeben; die Lavoisier'sche Methode liefert also wie beim Fett etwas zu hohe Zahlen. Stellt man die für die einzelnen Stoffe erhaltenen Werthe zusammen, so hat man:

Tabelle Nr. V.

Substanz	1g liefert cal berechnet nach Lavoisier's Annahme	1g liefert cal. direct bestimmt	Die Werthe nach Lavoisier unterscheiden sich von den direct gefundenen um %
Rohrzucker	3402	4001	— 15,0
Fett	9834	9423	+ 4,3
Muskelfleisch	4408	4000	+ 10,2

Die Fehlergrösse bei der Lavoisier'schen Methode ist also recht verschieden. Für die Berechnung der von einem Thier producirten

Wärme ist diese abhängig von der Art der Zufuhr. Da in der Regel bei den Thieren nicht gerade ein Nahrungsstoff allein zur Verbrennung gelangt, sondern weit häufiger Gemische, so ist der mittlere Fehler im Allgemeinen kleiner, als die hier für die einzelnen Nahrungsstoffe gegebenen Werthe betragen.

Da bei einem hungernden Organismus etwa 15 % der Wärme[1]) aus eiweissartigen Körpern und 85 % aus Fett stammen, so sind in diesem Falle die Fehler der Methode Lavoisier's

$$\begin{array}{r} 15 \times + 10{,}2 = + 153{,}0 \\ 85 \times + \ 4{,}3 = + 365{,}5 \\ \hline + 518{,}5 \end{array}$$

Der Fehler ist positiv und beträgt etwa 5,2 %.

Bei einer aus eiweissartigem Material, Fett und Kohlehydraten zusammengesetzten Kost, wobei in der Regel 30 % der Wärme zu gleichen Theilen aus Eiweiss und Fett stammen, 70 % aber aus Kohlehydraten erhält man bei Verwendung der Methode Lavoisier's folgende Fehlergrössen:

$$\begin{array}{ll} 30 \times \left(\frac{4{,}3 + 10{,}2 =}{2} \right) 6{,}8 & = + \ 217 \\ 70 \times - 15{,}0 & = - \ 1050 \\ \hline & = - \ 8{,}33. \end{array}$$

Der Fehler ist negativ und beträgt etwa 8,3 %. Die Fehler schwanken also zum mindesten zwischen — 8,3 und 5,2 %.

Namentlich die Menge der von dem Menschen producirten Wärme ist oftmals Gegenstand der Berechnungen gewesen. Da die Elemente der letzteren Fälle entlehnt waren, unter denen die Menschen von Gemische: von Eiweiss, Fetten und Kohlehydraten lebten, so können wir schliessen, dass die nach Lavoisier berechneten Zahlen im allgemeinen zu klein ausgefallen sind.

Dies ist zum Theil auch die Ursache, warum die Zahlen der Rechnung und die Zahlen des Versuches bei Dulong und Depretz

1) Rubner, Ueber den Einfluss der Körpergrösse auf Stoff und Kraftwechsel. Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 561.

sich nicht decken können[1]). Es ist vollkommen unzulässig aus ihren Versuchen rechnen zu wollen, welchen Wärmewerth man dem in der Respiration ausgeschiedenen Kohlenstoff zumessen müsse, wie es Traube gethan hat[2]), damit gerade die aufgefundene und berechnete Wärmemenge sich decke. Denn abgesehen davon, dass man, wie schon Danilewsky[3]) bemerkt, gar keinen Grund habe, gerade die Zahl des Kohlenstoffs zu corrigiren, kann man die bei ungekannter Art der Zersetzung resultirenden calorischen Werthe für den Kohlenstoff doch niemals gleichheitlich auf die einzelnen Stoffe vertheilen, wie dies Traube angenommen hat.

Ich übergehe die Berechnungen, welche nach Lavoisier's Methode über den Kraftverbrauch des Menschen angestellt worden sind; denn es ist ausser den dieser Methodik zukommenden Unsicherheiten noch zu beachten, dass die Basis der Berechnungen zum Theil wenigstens nicht allen Anforderungen, welche wir für solche stellen müssen, entsprachen. So ist es z. B. mit den oft citirten Zahlen Barral's. Es lässt sich bei Vergleichung der Einnahmen und Ausgaben der von Barral[4]) untersuchten Personen unschwer darthun, dass die letzteren zweifellos mehr an Nahrungsstoffen aufgenommen haben, als sie zum blossen Unterhalte nöthig gehabt hätten (überschüssige Kost). Bei Vergleichung der N-Einnahmen und Ausgaben erscheinen bedeutende Mengen N nicht mehr in den Excreten[5]).

b) Der calorische Werth des Kohlenstoffs.

Ausser der Annahme von Lavoisier hat man sich noch einer andern Methodik zur Berechnung der von Menschen und Thieren

1) S. namentlich die Kritik Liebig's, Thierchemie S. 28; Ludwig's a. a. O. S. 739 und Rosenthal, Herm., Handbuch Bd. 4 S. 358 ff.

2) Vgl. oben S. 341.

3) Pflüger's, Archiv Bd. 30 S. 182.

4) Vgl. auch Voit, Zeitschr. f. Biologie Bd. 2 S. 460.

5) So fehlt z. B. in der Ausscheidung an N; (ist also bedeutend angesetzt worden)

bei I 14,3 g
„ II 10,1 g
„ III 3,0 g
„ IV 9,6 g
„ V 11,6 g,

s. stat. chim. d. animaux, Paris 1850.

producirten Wärme bedient. Es gehört in diese Kategorie der Versuch den „calorischen" Werth der Kohlensäure [1]) und des geathmeten Sauerstoffs zu finden. Nachdem wir soeben für die Lavoisier'sche Annahme die Unzulänglichkeit nachgewiesen haben und erkannten, dass man unbedingt die Verbindungen kennen müsse, in welchen C und H zur Oxydation gelange, ist von vornherein anzunehmen, dass die nun zu besprechenden Berechnungen kaum Nährungswerthe zu nennen sind.

Als calorischen Werth des Kohlenstoffs erhält man nach meinen Zahlen:

bei	Rohrzucker	9,50
„	Muskelfleisch	10,20
„	Fett	12,31

Wie man sich leicht überzeugen kann, eignen sich diese Zahlen durchaus nicht zur Bestimmung des Kraftumsatzes; denn dies würde voraussetzen, dass für 1 g in der Athmung austretenden Kohlenstoffs ein gleichbleibender calorischer Werth bei den einzelnen Nahrungsstoffen sich fände.

Das Minimum verhält sich zum Maximum wie 100 : 129,5. Die Fehler dieser Methodik sind also so ungeheuer, dass von einer Verwendung derselben gar keine Rede sein kann. Mit Hilfe früher gewonnener Zahlen hat Rosenthal [2]) bereits einige drastische Beispiele für die Unzuverlässigkeit dieses „calorischen" Werthes des Kohlenstoffs angegeben.

c) Der calorische Werth des Sauerstoffs.

In ähnlicher Weise kann man auch darthun, dass von einer Bestimmung des calorischen Werthes des Sauerstoffs nicht erwartet werden kann, damit einen Maassstab für die Intensität des Lebensvorgangs zu gewinnen und den täglichen Kraftumsatz zu berechnen. Die Bestimmung des O-Consums hat den nämlichen Werth für die Statistik des Gasumtausches wie ihn die Kenntniss der CO_2-Ausscheidung besitzt. Ein absolutes Maass für die Lebensprocesse bildet

1) Liebermeister, Pathologie und Therapie des Fiebers 1875.

2) Rosenthal, Thierische Wärme in Hermann's Handbuch Bd. 4 S. 374.

die Bestimmung des Sauerstoffconsums aber ebenso wenig, wie die Bestimmung der Kohlensäure. Aus meinen Wärmewerthen der einzelnen Stoffe erhält man folgende Zahlen für den calorischen Werth des Sauerstoffs:

Tabelle Nr. VI.

Substanz	100 Theile brauchen zur completen Oxydation in Gramm	100 Theile liefern Cal.	Auf 1 g O also in Cal.	Den calorischen Werth des O bei Fleisch = 100 gesetzt
Muskelfleisch	133,6	400,0	3,0	100,0
Fett	228	942,3	3,27	109,0
Rohrzucker	112,4	400,1	3,56	118,6

Man findet also auch bei diesen Zahlen ganz erhebliche Differenzen nämlich **bis zu** 18,6 %; mit derartigen Fehlern wird man rechnen müssen.

Die Berechnung des calorischen Werthes des Sauerstoffs bei Verbrennung von Muskelsubstanz ist in folgender Weise geschehen:

Von 100 Thl. trocknem Muskel spalten sich ab 38,2 Thl. (organisch) in Harn,
„ 100 „ „ „ „ „ „ 2,7 „ „ in Koth.

Für die Analyse des Harns sind die Voit'schen Zahlen benützt. Nur an Stelle des Stickstoffgehalts ist der von mir gefundene unerheblich differirende Werth eingesetzt worden; die Differenz ist im O-Gehalt abgeglichen.

	C	H	N	O
38,2 Theile Harn enthalten	9,63	2,52	15,16	10,9
2,7 „ Koth „	1,67	0,25	0,24	0,54
	11,30	2,77	15,40	11,44
	C	H	N	O
Es verbleiben sonach von 100 tr. Muskel	50,5	7,6	15,4	20,97
Abfallstoffe	11,3	2,8	15,4	11,44
	39,2	4,8	—	9,53

Daraus würde sich für den respiraten Quotienten 0,781 berechnen. Regnault und Reiset fanden beim Hund bei Fleischfütterung 0,745; da neben Fleisch wohl auch noch Fett zersetzt worden ist und bei Fettzersetzung (z. B. bei Hunger) 0,724 als Quotient erhalten wurde, so steht Rechnung und Experiment in befriedigender Uebereinstimmung. Pettenkofer und Voit[1]) geben im Mittel bei Fleischfütterung den Quotienten zu 0,78 an.

1) Hermann's Handbuch Bd. 6 S. 116.

Der von Liebermeister[1]) aus anderen Elementen und mit Zugrundelegung anderer Wärmewerthe gefundene calorische Werth des Sauerstoffs mit 3,53 Cal. stimmt mit meiner Mittelzahl nicht überein. In gleicher Weise sind die früher von mir nach den Zahlen von Danilewsky berechneten Werthe mit 3,5 Cal.[2]) pro 1g O und die dann auf ähnlicher Basis von Lilienfeld[3]) erhaltene Zahl ist mit den zu hohen Werthen des genannten Beobachters zu hoch ausgefallen[4]).

Mit den grossen Schwierigkeiten, welche sich für den calorischen Werth des Sauerstoffs ergeben, sind auch alle Schlussfolgerungen, welche man aus dem Sauerstoffconsum gezogen hat, mit grosser Reserve aufzunehmen; namentlich in solchen Fällen, bei denen eine einseitige Fütterung mit einem Nahrungsstoff vorgenommen worden ist.

d) Die Berechnung der Stoffzersetzung.

Die Berechnung der von einem Organismus freigemachten Spannkräfte aus den zersetzten Nahrungsstoffen ist theoretisch gleichberechtigt mit der directen calorimetrischen Methode; denn es ist eine nothwendige Folge des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft, dass beide sich decken. Es ist allerdings der stricte Nachweis hierfür noch nicht erbracht, aber es sind namentlich die Versuche von Dulong durchaus nicht so mangelhaft, als man vielfach annimmt.

Dulong hatte, wie aus seinen hinterlassenen Papieren[5]) von Dumas nachgewiesen wurde, zunächst jedenfalls die richtigen Anschauungen über die Fehler, welcher eine Uebereinstimmung zwischen berechneter und direct bestimmter Wärme unmöglich machen. Er hat sich den Einwand gemacht, dass die Temperatur der Thiere,

1) a. a. O.

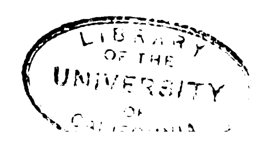
2) Rubner, Die Vertretungswerthe etc. S. 347.

3) Untersuchungen über den Gaswechsel fiebernder Thiere, Pflüger's Archiv Bd. 32 S. 341:

Eiweiss	3,432	} 3,505.
Fett	3,368	
Rohrzucker	3,707	

4) S. auch Rosenthal a. a. O. S. 374 und Danilewsky a. a. O. S. 184 ff.

5) Annal. de chim. et de physique 3. Sér. 1843 vol. VIII p. 180.



welche untersucht wurden, gesunken sein könne, weist ihn aber als unwahrscheinlich und irrelevant zurück. Als Hauptfehler hat er selbst erkannt, dass die damals benützten Zahlen über die Verbrennungswärme des C und H falsch waren, und bestimmte den Wärmewerth des letzteren selbst und zwar zu

7288 für den C
34444 für den H.

Die Zahl für den H stimmt völlig mit den von uns benützten überein, die für den C ist etwas zu niedrig (8080 nach Favre und Silbermann). Dulong hatte berechnet, dass mit Hilfe seiner neuen Zahlen sich sogar ein Wärmeüberschuss herausstellt.

Bei einem Kaninchen wurden 17,773 Cal. im Calorimeter erhalten und dabei in den Athemproducten gefunden:

	nach Dulong	nach Favre u. Silbermann
verbrannt an C 1,680g	12,264	13,57
„ „ H 0,176g	6,075	6,07
	18,339 Cal.	19,64 Cal.

Der Wärmeüberschuss beträgt + 10,5 %, wenn man die Zahlen von Favre und Silbermann verwendet; nach dem früher Erwähnten liefert die Methode der Berechnung der Wärme aus den Elementen C und H bei Fettzersetzung oder Zersetzung von Muskelsubstanz zu viel Wärme; man müsste also annehmen, wenn man in diesen eben dargelegten Zahlen eine Bestätigung sehen wollte, dass die von einem Thier producirte Wärme, gerade durch die Rechnung gedeckt werde, Dulong's Kaninchen sei ein recht fettarmes Thier gewesen, welches also relativ viel Muskelsubstanz verbrannte. Berechnet man sich den respiratorischen Quotienten (0,76), so scheint diese Annahme zulässig.

Eine auffallende Uebereinstimmung zwischen Wärmebestimmung und Wärmeberechnung ist auch folgende, welche unmöglich auf Zufälligkeiten zurückgeführt werden kann.

Nach den Beobachtungen, welche Senator mit Hilfe eines Calorimeters an hungernden Hunden angestellt hat und nach meinen

1) Ueber den Einfluss der Körpergrösse a. a. O. S. 552.

Beobachtungen und Berechnungen über die Oberflächenentwicklung der Hunde hat sich ergeben, dass pro 1 Quadratmeter Oberfläche eines Hundes

1065 Cal. pro 24 Stunden [1])

geliefert werden.

Ich habe nun für zahlreiche Hunde die Stoffzersetzung im Hungerzustande untersucht bei bekannter Oberfläche des Thieres und rechne (jetzt statt meiner früheren Wärmewerthe, welche wegen der Benützung der Zahlen von Danilewsky zu hoch ausgefallen waren) pro 1 Quadratmeter

1112 Cal. pro 24 Stunden,

d. h. das Resultat der Rechnung ergibt ein nur um 4,4 % zu hohes Resultat der Tageswärme. Diese Uebereinstimmung ist so befriedigend, dass derselben eine tiefere Bedeutung beigelegt werden muss; wir können also schliessen, dass bei Berechnung der Wärmewerthe der zersetzten Körperstoffe nach den von mir gefundenen Zahlen, Rechnung und directe Calorimetrie übereinstimmen.

Die Genauigkeit der Methode, aus den zersetzten Stoffen die Wärme zu berechnen, ist eine vollkommene und nur davon abhängig, inwieweit man im Stande ist, die in einem Organismus zersetzten Nahrungsstoffe zu bestimmen.

In den meisten Fällen — beim Hungerzustand oder Zufuhr eiweissartiger Verbindungen — genügt:

1. Die Kenntniss des ausgeschiedenen Stickstoffs,
2. die Kenntniss des ausgeschiedenen Kohlenstoffs,
3. die Kenntniss der Relation von Stickstoff und Kohlenstoff in dem zersetzten Eiweiss oder eiweissartigen Material.

Für alle diese Bedingungen haben wir die zuverlässigsten Garantien der Exaktheit. Die Schärfe der Methoden zur Bestimmung des Stickstoffs, die Bestimmung des C in der Respiration und in den Abfallstoffen lässt nichts zu wünschen übrig; desgleichen

1) Ueber den Einfluss der Körpergrösse a. a. O. S. 552. Auf dieser Seite ist durch ein unrichtig gestelltes Comma die Bezeichnung der Elemente für die Wärmeberechnung eines hungernden Thieres entstellt; es hat zu heissen . . . n = der Wärmeproduction für 1 qcm und die ganze Formel

$$w = k \sqrt[3]{a} \cdot n$$

ist es unschwer, dem dritten Punkte gerecht zu werden. Was den schwierigen Fall der Bestimmung der Relation von N und C in dem hinzugesetzten eiweissartigen Material anlangt, so sind auch hiefür die sichersten Nachweise erbracht worden[1]).

Auch bei Fütterung mit Fett oder mit Kohlenhydraten müssen richtige Zahlen erhalten werden. In allen Fällen muss man aber dafür sorgen,

1. dass die Zeiträume der Beobachtung nicht zu kurz gewählt werden,
2. dass die Zufuhr der Stoffe keine überschüssige[2]) sei.

In vielen Fällen überschüssiger Zufuhr fehlen uns vorläufig noch alle Elemente der exacten Berechnung, indem dabei Ablagerungen von Stoffen im Körper eintreten, von denen wir mit Bestimmtheit noch nicht zu sagen vermögen, welche Zusammensetzung und welcher Brennwerth denselben zukommt. So ist es z. B. ungewiss, welcher Art die Ablagerung einer kohlenstoffhaltigen Substanz nach reichlicher Eiweisszufuhr ist, oder wie es sich mit dem nach reichlicher Stärkezufuhr im Körper zurückgehaltenen Kohlenstoff verhalte. Abgesehen von diesen Fällen, gestaltet sich die Berechnung höchst einfach.

Als ein Beispiel der Berechnung wähle ich aus den Versuchen von Pettenkofer und Voit[3]) die bei einem hungernden Menschen erhaltenen Zahlen[4]).

Für den Versuch I erhielt man:

Gesammt-Kohlenstoffausscheidung[5])	207,1
im Harn 11,33 N, letztere entsprechen 11,33 × 3,28	37,2 C
so dass für Fett bleiben	169,6 C

1) Vgl. dieses Heft S. 323.

2) Vertretungswerthe S. 327 ff.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 2 S. 459 ff.

4) Die Zahlen sind einer Umrechnung unterzogen; da Voit unter Fleisch aus Eiweiss die Zusammensetzung des nach seiner Art hergerichteten Fleisches versteht, nämlich solches, in welchem auf 1 N 3,68 C trifft, so habe ich die Zahlen (vgl. auch Vertretungswerthe S. 344 und Theil I s. calorische Versuche) für die von mir festgestellte Relation 1 N : 3,28 C einsetzen müssen, da für calorische Versuche alles darauf ankommt, scharf zwischen Eiweiss und Fett zu trennen.

5) Es ist bei den Ausgaben, sowohl der N als C des zugeführten Fleischextractes abgezogen.

Für den Versuch III erhält man:

Gesammt-Kohlenstoffausscheidung	195,0
im Harn 10,96 N, sonach ab für letzteren	36,1 C
so dass verbleiben für Fett	158,9 C

Daraus berechnet sich als Wärmewerth:

Für I	(11,33 × 25,00[1])	= 283 Cal.
	(12,3[2]) × 170)	= 2091 „
	Summe	= 2374 Cal.
Für III	(11,0 × 25,00)	= 275 Cal.
	(12,3 × 159)	= 1956 „
	Summe	= 2231 Cal.

Im Mittel also beträgt die Menge der von einem Manne von 70 kg pro 24 Stunden im Hungerzustand producirten Wärmemenge:

2303 Cal.

Damit sind nun die principiellen Fragen, welche sich unmittelbar an die Kenntniss der Methodik anreihen lassen, abgeschlossen.

Es ist aber doch naheliegend, auf einige wichtige Anwendungen der gewonnenen calorimetrischen Werthe einzugehen.

Hierzu zähle ich die genaue quantitative Bestimmung des menschlichen Kraftwechsels, die schon von vielen Forschern mit mehr oder minder zuverlässigen Methoden versucht worden ist. Es wird sich darthun lassen, wie wichtig die genaue Kenntniss der Statistik des Kraftwechsels für die Wärmelehre ist und es wird nicht zu leugnen sein, dass sie zur Vereinfachung und leichtern Darstellung vieler Vorgänge in den Ernährungsprocessen nicht mehr entbehrt werden kann.

Leider aber sind die Ermittelungen über die von den Menschen unter verschiedenen Umständen aufgenommene Nahrung keineswegs immer den Anforderungen entsprechend, welche man im Interesse der Sache denselben wünschen möchte und welche allein erlaubt, die berechnende Methode des Kraftwechsels als vollkommen ebenbürtig mit der directen calorimetrischen Methode (woferne eine solche existirte!) hinzustellen.

1) Vgl. oben S. 333.
2) Vgl. oben S. 363.

3. Beobachtungen über die Grösse des Kraftwechsels des normalen Menschen.

Es sind umfangreiche Versuche angestellt worden, welche festzustellen sich bemühten, wie viel der Mensch von den einzelnen Nahrungsstoffen aufnehmen müsse, um unter verschiedenen Lebensverhältnissen leistungsfähig zu bleiben. Die Aufgabe ist als eine rein statistische aufgefasst worden, indem man die Speisen verschiedener normaler Individuen untersuchte. Sie ist soweit gelöst, dass sich bestimmte Gesetze für die Ernährung aufstellen lassen.

Da nun diese Methode eine grosse Menge von Untersuchungen auszuführen gezwungen war, so hat sie ihre Hilfsmittel etwas vereinfacht. Die Zahl der organischen Verbindungen, welche von den Menschen aufgenommen werden, ist sehr gross, die Trennungsmethoden für die einzelnen Stoffe grösstentheils so ungenügend, dass man übereinkam, ein bei allen Versuchen gleichbleibendes summarisches Verhalten einzuschlagen. Zunächst hatte man sich dahin geeinigt, das Augenmerk auf die hauptsächlichsten Nahrungsstoffe — Eiweiss, Fette und Kohlehydrate — zu richten.

Alle drei sind Bezeichnungen für Gruppen von Stoffen, deren jede aus einer Reihe mehr oder minder ungleich zusammengesetzter Körper gebildet wird.

Wir können nun aber nicht, wie es vielfach schon geschehen ist, die für Eiweiss, Fett und Kohlehydrate erhaltenen Zahlen mit Zugrundelegung eines für reines Eiweiss, für Neutralfett u. s. w. gefundenen Wärmewerthes umrechnen, da sonst bei derartigen Betrachtungen kaum verwerthbarere Zahlen erzielt werden, als dies früher nach der Methode Lavoisier's der Fall war.

Wir müssen vielmehr zunächst besprechen, wie man im Allgemeinen bei Bestimmung des Eiweiss-, Fett- und Kohlehydrat-Gehaltes menschlicher Nahrungsmittel verfahren ist und daraus dann die Zulässigkeit der einen oder andern Art der Berechnung des Kraftwechsels erörtern.

Die grösste Schwierigkeit bildet zunächst die Eruirung des Eiweissgehaltes von Nahrungsmitteln. Wir besitzen keine all-

gemein anwendbare exacte Methode. Bei thierischen Eiweisskörpern, abgesehen von jenen der Milch, ist man in der Regel so verfahren, dass der Rest, welcher nach Abzug von Wasser, Fett und Asche bleibt, als eiweissartige Substanz in Rechnung gestellt wird[1]). Dabei wird also auf die stickstoffhaltigen Extraktivstoffe dieser Substanzen nicht Rücksicht genommen. Da die zu Speisen verwendeten Bestandtheile der Thiere fast die nämliche Zusammensetzung[2]) haben, so ist diese Art der Berechnung immerhin eine gleichartige, wenn sie auch durchweg einen zu hohen Gehalt an Eiweiss berechnen lässt. Ein hiervon abweichendes Verfahren hat man bei den Vegetabilien eingeschlagen. Man hat sich bei letzteren ganz allgemein darauf beschränkt, die Bestimmung eines für die Eiweisskörper charakteristischen Elementes (des Stickstoffs) vorzunehmen und dann, einen mittleren Stickstoffgehalt der Eiweisskörper zu Grunde legend, die gefundenen Stickstoffzahlen durch Multiplication mit 6,45 in Eiweiss umzurechnen. Dieser Werth drückt aber, wie man längst weiss, nicht den wahren Eiweissgehalt aus, denn er setzt einen für alle Eiweisskörper gleichmässigen Gehalt an Stickstoff von 15,5 % voraus, während manche pflanzliche Eiweisskörper bis zu 19 % Stickstoff enthalten.

Wie weiter oben schon dargethan worden ist, besitzen die bis jetzt untersuchten Eiweisskörper im Maximum um 10,7 % abweichende physiologische Verbrennungswerthe[3]).

Die Berechnung der als „Eiweisskörper" in den Aufzeichnungen über die menschliche Kost aufgeführten Substanzmengen in Wärmewerthe scheint demnach geradezu unmöglich; denn wenn schon die Bestimmung der Menge der Eiweisskörper mit gewissen Fehlern behaftet ist, so wird durch die Ungewissheit des unterzulegenden Verbrennungswerthes die Fehlergrösse nur vermehrt.

Man kann aber mit Hilfe einiger Ueberlegungen darthun, dass für eine grosse Reihe von Untersuchungen die wesentlichen Fehlerquellen sich vermeiden lassen.

1) Vgl. Voit, Zeitschr. f. Biologie Bd. 12 S. 58.

2) Soweit Eiweisskörper und Extractivstoffe in Betracht kommen; vgl. auch Voit, Zeitschr. f. Biologie Bd. 2 S. 233.

3) Vielleicht ergeben erweiterte Untersuchungen noch grössere Differenzen.

Zum grossen Theil beziehen sich die Untersuchungen, welche angestellt worden sind, auf Menschen, welche frei in der Wahl ihrer Nahrungsmittel dem Geschmacke folgend, dieselben sowohl aus dem Thier- wie aus dem Pflanzenreiche entlehnten. Nun hat man nachgewiesen, dass in dieser Auswahl eine bestimmte Gesetzmässigkeit liegt[1]), indem in einer Reihe gut übereinstimmender Beobachtungen 60 % der Eiweisskörper, welche wir aufnehmen, dem Thierreiche entlehnt waren, der Rest dem Pflanzenreiche, so dass also schon der grössere Theil der Unsicherheit wegfällt, indem die Hauptmasse auf die gut bestimmbaren thierischen Eiweissstoffe trifft.

Die 40 % des Eiweisses, welche dem Pflanzenreiche entlehnt sind, treffen in einigen Fällen auf Gemenge verschiedener Eiweissarten, zumeist aber spielt das Brod eine grosse Rolle in der Kost. Man hat gefunden, dass in sehr vielen Fällen 33 % der Eiweisskörper auf das Brod entfallen. Das ist also fast sämmtliches vegetabilisches Eiweiss, das man aufzunehmen pflegt. Die Eiweisskörper, welche sich im Brode befinden, kennen wir aus den Untersuchungen von Ritthausen[2]) ziemlich genau, wenn auch eine zuverlässige quantitative Bestimmung dieser verschiedenen Eiweisskörper noch nicht geglückt ist. Die Eiweisskörper des Weizens haben alle einen höheren Stickstoffgehalt als 15,5 % im Mittel = 17,2 %, so dass also die mit Hilfe des Werthes 6,45 aus der Stickstoffzahl berechneten Eiweisswerthe, nicht mit der Wahrheit übereinstimmen, sondern zu gross gefunden werden (+ 10,9 %). Auch beim Roggen trifft es zu, dass die Eiweisskörper reicher an Stickstoff sind, als dem Factor 6,45 entspricht; man erhält als mittleren Stickstoffgehalt der Roggeneiweisskörper 16,3 %, somit werden nach der jetzt geübten Methode die berechneten Eiweissgehalte um 5,1 % zu hoch.

Es wird also für animalische wie für vegetabilische Eiweisskörper ein zu hohes Resultat erhalten.

1) Siehe hierüber C. Voit, Untersuchung der Kost in einigen öffentlichen Anstalten, 1877 S. 24 ff.; Forster, Zeitschr. f. Biologie Bd. 9 S. 391 ff., und Hoffmann, Die Bedeutung der Fleischnahrung und Fleischconserven, S. 59.

2) H. Ritthausen, Die Eiweisskörper der Getreidearten und Hülsenfrüchte 1872.

Bei dem animalischen Eiweiss berechnet man z. B. beim Muskelfleisch durch Nichtberücksichtigung der Extractivstoffe statt 86,6g [1]) trocknes Eiweiss 100 Theile; also zu viel um 15,4 % [2]) bei Weizen- und Roggenmehl, im Mittel zu viel um 7,9 %.

Da die animalischen eiweissartigen Nahrungsmittel, welche ausser dem Muskelfleisch genossen werden, im Durchschnitt etwa die Hälfte des in Form von Muskelfleisch verzehrten Eiweisses betragen, und ausserdem in ihrem Verbrennungswerthe mit ersterem fast völlig übereinkommen, so ist es vollkommen zulässig für das Gemisch von Eiweisskörpern und Extractivstoffen den von mir für Muskelfleisch gewonnenen Verbrennungswerth zu Grunde zu legen. Da 94,5 organische Theile des Muskelfleisches 400,0 Cal. an physiologischen Wärmewerth gaben, so ist für das aus animalischen Nahrungsmitteln berechnete Eiweiss pro 100 Theile organisch 423,3 Cal. zu Grunde zu legen.

Wollte man selbst annehmen, es würde die Hälfte animalischer Eiweisskörper aus Fleisch, die übrige Menge in Form von Milch zugeführt, so hätten wir nur wenig an dem Mittelwerthe zu ändern, denn man erhält:

Mittel für die organischen Theile des Fleiches 4,233
„ „ Casein 4,40

gibt im Mittel 4,32 Cal.

Für die Mischung von pflanzlichen Eiweisskörpern, welche in der Regel zur Verwendung kommt, und etwa 53,4 % C und 16,7 % N[3]) enthält, könnte die Verbrennungswärme des Syntonins und Fibrins, welche ähnliche Zusammensetzungen haben, benützt werden.

Denn es wird richtiger sein, den Verbrennungswerth von Eiweissstoffen zu benützen, welche nach ihrer Elementarzusammensetzung mit den hier in Betracht gelangenden einige Aehnlichkeit besitzen,

1) 100 trockner Muskel (fettfrei) enthalten 5,5 % Asche, 94,5 % organische Bestandtheile, 12,68 Extractivstoffe, also 100 Theile organisch = 13,4 Extractivstoffe = 86,6 % Eiweisskörper.

2) Ganz unzulässig ist es, den Eiweissgehalt animalischer Nahrungsmittel aus dem N-Gehalt zu berechnen. Enthalten 100 Theile Fett und aschefreies Fleisch 16,3 % N, so würde man 16,3 × 6,45 = 105,1 Theile Eiweiss berechnen, indes nur 86,6 vorhanden sind, demnach zu viel um 21 %.

3) Aus den Zahlen von Ritthausen von mir berechnet.

als irgend eine Mittelzahl für „pflanzliches Eiweiss" einzusetzen. Man hätte also 442,4 — 417,9 Cal., im Mittel 430,1 für 100^g der in Frage kommenden pflanzlichen Eiweissstoffe als Wärmewerth zu wählen.

Es wird, wie oben gezeigt worden ist, die Menge der Eiweissstoffe des Brodes (aus Roggen und Weizen) im Mittel um rund 7,9 % zu hoch berechnet. Wir haben sonach die Wahl entweder alle Bestimmungen des Eiweisses nochmals durchzurechnen und zu corrigiren, was aber unmöglich ist, da theilweise die Originalzahlen nicht zu beschaffen wären, oder wir müssen den für 1^g vegetabilischen Eiweisses zu 4,301 Cal. berechneten Wärmewerth entsprechend kürzen und statt mit 4,301 mit 3,96 Cal. (4,301 — 0,340) rechnen.

Nach dem Gesagten lässt sich nun leicht ein mittlerer Werth der Verbrennungswärme für jene als Eiweissstoffe angeführten Mischungen von Körpern angeben. Berücksichtigt man die Betheiligung der animalischen und vegetabilischen Eiweisskörper, erstere mit 60 %, letztere mit 40 % des gesammten zugeführten Eiweisses, so erhält man:

für animalisches Eiweiss	60 ×	423,3	=	2540
„ vegetabilisches „	40 ×	396	=	1584
		Summe	=	4124

als Mittelwerth pro 1^g „Eiweiss", wie es in den statistischen Zusammenstellungen der menschlichen Kost sich findet (rund 4,1 Cal.)

Wir sind also für das Eiweiss zu einer bei zahlreichen Fällen gemischter Nahrungszufuhr brauchbaren Standardzahl gekommen. Man wird aus den mannigfachen Gründen, welche ich für die Schwierigkeit der Berechnung (sowohl der Berechnung des Eiweisses, als auch für die calorimetrische Auswerthung der gefundenen Zahlen) anführte, wohl ersehen können, wie unzulässig und ungenügend das Verfahren ist, für die unter der Rubrik Eiweiss im Allgemeinen angeführten Werthe, nur eben den Mittelwerth für die Verbrennungswärme des Eiweisses nach Abzug des Harnstoffs zu verwenden.

Einfacher zu übersehen ist die Berechnung des Wärmewerthes des Fettes, und insbesonders ist es den Untersuchungen Stoh-

mann's zu danken, dass ein genauer Einblick in diese Verhältnisse gestattet ist. Unter dem Namen „Fett" ist manchmal nur das Aetherextract, von Pflanzen z. B., gemeint; allein fast in allen Fällen sind die aus Pflanzen stammenden fettähnlichen Substanzen ihrer Menge nach äusserst gering [1]).

Im Uebergewicht befinden sich Neutralfette von Thieren, Butterfett, allenfalls auch Olivenöl; für diese drei Stoffe wird angegeben:

Olivenöl (im Mittel	9384 cal	pro. 1 g	nach Stohmann.
Thierfett	9372 „	„ „	
Butterfett	9179 „	„ „	
im Mittel	9312		

Von diesem Mittelwerthe weicht die Zahl für Olivenöl und Thierfett nur um 0,06 — 0,07 Cal. ab, das Butterfett um 0,133 Cal. Es werden also durch die Benutzung dieser Mittelzahl für die Berechnung des Fettes Fehler eingeführt, welche wenig über 1 % betragen (im maximalsten Falle); es wurde abgekürzt mit der Zahl 9,3 gerechnet.

Auch die Angaben über den Gehalt an Kohlehydraten sind nur Näherungswerthe. Man verfährt zur Bestimmung derselben in der Regel so, dass der N, die Asche, das Aetherextract direct bestimmt werden, aus dem N-Gehalt berechnet man durch Multiplication mit 6,45 den Eiweissgehalt; was nach Abzug von Asche, Aetherextract und Eiweiss übrig bleibt, wird als „Kohlehydrat" betrachtet. Es häufen sich sonach alle Fehler dieser Bestimmungsmethoden auf die Kohlehydrate, insbesondere kommt hier der Fehler, der durch die Berechnung des Eiweisses entsteht, in Betracht. In demselben Maasse wie der Werth des Eiweisses für die wichtigsten

1) Von den gebräuchlichsten Vegetabilien enthalten:

Wirsing	5,5 %	Aetherextract	der	Trockensubstanz,
gelbe Rüben	1,5 %	„	„	„
Mais	0,5 %	„	„	„
Erbsen	1,35 %	„	„	„
Weizenmehl	1,12 %	„	„	„
„	0,95 %	„	„	„
Kleienmehl	2,11 %	„	„	„

Im Tage wird bei alleiniger Brodkost nur 6,7 — 12,6 g Aetherextract aufgenommen.

Eiweissstoffe in den aus Weizen und Roggen hergestellten Speisen zu hoch gefunden wurde, sind die Kohlehydrate zu niedrig berechnet worden; aber freilich nicht um 7,9 %, sondern im maximalsten Falle um 2 % (z. B. beim Weizen [1]).

Da im Allgemeinen etwa 118 g Eiweiss für einen menschlichen Organismus nöthig sind und 40 % des Eiweisses aus Vegetabilien stammt = 47,2 g, so würde bei einem Fehler von 7,9 % in der Berechnung des vegetabilischen Eiweisses 3,7 g Eiweiss zu viel, also 3,7 g Kohlehydrat zu wenig angenommen worden sein. Indem nun in der Regel an 500 g Kohlehydrate aufgenommen werden, so wäre statt dieser 503,7 zu setzen; die Differenz beträgt also nur 0,7 %.

Welchen Wärmewerth soll man für die Kategorie „Kohlehydrat" wählen? Für den Menschen kommen (wenn man von der Cellulose absieht) Traubenzucker, Milchzucker, Rohrzucker und Stärkemehl in Betracht. Den weitaus überwiegenden Theil bildet das Stärkemehl. Die Werthe der Verbrennungswärme für diese Stoffe sind pro 1 g

Traubenzucker	3692
Milchzucker	3877
Rohrzucker	3959 (4001)
Stärke	4116.

Da die Stärke niemals in absolut trockenem Zustande aufgenommen wird, sondern stets gequollen, so ist ihr Wärmewerth, wegen des Wärmeverlustes bei der Quellung, kleiner als 4116; andererseits aber ist zu beachten, dass wegen der theilweise zu hohen Eiweissberechnung die Stärke, wie überhaupt die Kohlenhydrate, etwas zu niedrig berechnet werden, so dass also der Wärmewerth etwas erhöht werden müsste. Ausserdem bliebe zu beachten, dass die Werthe Stohmann's sämmtlich kleiner sind, als die von mir für die gleichen Verbindungen erhaltenen (um 1 %). Man wird demnach die verschiedenen Fehlerquellen abgleichend und die wichtige Rolle des Stärkemehls berücksichtigend pro 1 g Kohlehydrat 4,1 Cal. setzen können.

1) Würde es sich in Folgendem nur darum handeln, den Gesammtwärmewerth der Kost des Menschen zu berechnen, so würde man die Correction bei den pflanzlichen Eiweisskörpern und bei den Kohlehydraten vernachlässigen können, da sich beide fast ganz abgleichen.

Ich komme also nach Abwägung aller einschlägigen Verhältnisse dazu, für jene Fälle, in denen sogenannte gemischte Kost von den Menschen aufgenommen wird

pro 1g	**Eiweiss**	**4,1**	**Cal.**
„ „	**Fett**	**9,3**	„
„ „	**Kohlehydrat**	**4,1**	„

als Wärmewerthe zu setzen.

Bis jetzt haben wir nur die Fehlerquellen berücksichtigt, welche bei Feststellung der menschlichen Kost in der Methodik der Analyse lagen, es wäre aber auch mancher anderen zu gedenken. Wenn wir zunächst von jenen Fällen absehen, in welchen es fraglich bleibt, ob die aus den Rohmaterialien berechnete Speisemenge wirklich aufgenommen wurde, so wäre zunächst Folgendes zu beachten.

Wenn Feststellungen über den Bedarf des Menschen an Nahrungsstoffen gemacht werden, so muss immer vorausgesetzt werden können, dass das untersuchte Individuum mit den Stoffen zur Erhaltung seines Körperbestandes wirklich ausreichte; es darf ebensowenig zu viel an Nahrungsstoffen zugeführt werden (Ansatz und überschüssige Verbrennung), noch auch zu wenig, wobei dann Stoffe vom Körper abgegeben würden (partielle Inanition).

Es fehlt an genaueren Angaben über die Körpergrösse, ob sich die Versuche auf Sommer oder Winter erstreckten, die Art der Bekleidung, der Aufenthaltsort des Individuums (ob geschlossener Raum oder in freier Luft).

Ein weiterer Grund der Unsicherheit liegt darin, dass für fast alle Fälle nicht bekannt ist, wie viel von den eingeführten Stoffen verdaut worden ist und wie viel nicht; wie nachgewiesen wurde, ist aber die Ausnützung für die einzelnen Nahrungsstoffe in höchstem Grade ungleich [1]) und im Ganzen, je nach der Composition der Kost, wechselnd. Diesen hierdurch bedingten Fehlern gegenüber verschwinden die etwa bei Berechnung von „Eiweiss, Fett und Kohlehydraten“ gemachten.

---

1) Rubner, Ueber die Ausnützung einiger Nahrungsmittel, Zeitschr. f. Biologie Bd. 15 S. 115 ff. und über die Ausnützung der Erbsen ebenda Bd. 16 S. 119; über den Werth der Weizenkleie etc. Bd. 19 S. 45.

Alles zusammengenommen besitzen wir aber doch von einer Reihe vorzüglicher Beobachter Angaben über die Verhältnisse der Lebensweise der Menschen unter verschiedenen Umständen, aus denen sich eine Reihe wichtiger Schlussfolgerungen ziehen lassen.

a) Der Kraftwechsel Erwachsener.

Man war lange Zeit bemüht, ein mittleres Kostmaass für den Menschen aufzustellen. Es sind von verschiedenen Autoren hierüber Angaben gemacht worden.

Ich habe nach den besten Angaben folgende Werthe für den Kraftwechsel der (männlichen) Erwachsenen mittlerer Arbeit angeführt. Man bezieht auf dieses Kostmaass einen Menschen von 67 kg Körpergewicht, bei leichter etwa achtstündiger Arbeit.

Tabelle Nr. VII.

	Eiweiss in Gramm	Fett in Gramm	Kohlehydrate in Gramm	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydr.	Summe	Beobachter
Erwachsener	119	51	530	488	474	2170	3133	Playfair
Mann bei mittlerer Kost	130	40	550	533	372	2255	3159	Moleschott
Mann bei mittlerer Kost	120	35	540	492	325	2214	3031	Wolff
Soldat, leichter Dienst	117	35	447	480	325	1832	2638	Hildesheim
Mittlerer Arbeiter	118	56	500	484	521	2050	3055	Voit

Es ist sehr erfreulich zu sehen, dass die einzelnen Beobachter, trotz der Schwierigkeit der Aufgabe, fast die nämlichen Angaben machen. Abgesehen von den Werthen Hildesheim's, für einen Soldaten bei leichtem Dienst, stimmen Playfairs, Moleschott, Wolff und Voit fast absolut überein, wenn auch die Werthe für die einzelnen Nahrungsstoffe keineswegs dieselben sind. Die geringen Differenzen, welche sich vorfinden, können auf die mannigfachsten Gründe: auf verschiedenes Körpergewicht, verschiedene Arbeitsleistung, verschiedene Ausnützung der verabreichten Kost zurückgeführt werden.

Man erhält mit Ausschluss der Angabe von Hildesheim:

3133, 3159, 3031, 3055 } im Mittel **3094 Cal.** pro 24 Stunden.

Dem Mittelwerth kommt die Voit'sche Zahl am nächsten. Die hier erhaltenen Werthe sind nur die Bruttowärme; es ist dabei nicht in Rechnung gezogen, dass ein Theil der Nahrungsstoffe unabsorbirt den Körper verlässt. Ich habe diesen Verlust bei gemischter Kost zu 8,11% der Bruttowärme bestimmt[1]); man hat demnach 251 Cal. abzuziehen, so dass verbleiben

3094
— 251
2843 Cal. als Kraftverbrauch der mittleren Arbeit in 24 Stunden.

Der Wärmewerth der Zufuhr des normalen Menschen ist mannigfach berechnet worden; da aber einerseits die Methodik der Berechnung keine einwandfreie war, andererseits aber die Zahlen von Frankland und Danilewsky nur Annäherungswerthe darstellten, so kann man füglich die Anführung älterer Angaben unterlassen. Für die Angaben Playfair's berechnet Danilewsky (ohne Abzug der Verbrennungswärme des Kothes) 3477500 cal.; meine Rechnung ergibt 3133 und für die gleichen Werthe Moleschott's findet er 3511000, nach meinen Untersuchungen 3159; die Zahlen Danilewsky's sind also in diesem Falle zu hoch um ca. 12%.

Der Kraftverbrauch, welchen wir soeben für den Menschen ermittelten, gilt für unser Klima, für mässige (9—10stündige[2]) Arbeit und ein Körpergewicht von 67 kg. Pro 1 kg erhält man als Wärmeproduction

42,41 Cal.

Die Oberfläche eines Mannes von 67 kg Gewicht nehme ich zu 20305 qcm [3]) an, so dass auf 1 qm Oberfläche 1399 Cal. pro 24 Stunden geliefert wird[4]).

1) S. unten S. 384.

2) Vgl. Voit in Hermann's Lehrb. S. 525.

3) Ueber den Einfluss der Körpergrösse etc. Zeitschr. f. Biologie Bd. 19 S. 548.

4) Bei Hunger (vgl. oben S. 369) werden 1134 Cal. pro 1 qm Oberfläche entwickelt; für den Hund fand ich (a. a. O. S. 552) 1112 Cal. (in liegender Stellung). Es scheint demnach, dass der Mensch durch Bekleidung seinen Wärmeverlust ebenso weit hindert, als er durch Nichtbehaarung seiner Haut an Schutz einbüsst.

Damit ist aber nicht etwa gemeint, dass in diesem Falle die Oberflächenentwicklung die allein maassgebende Ursache für die Grösse des Kraftconsums ist; hier, wie auch in den weiteren Fällen, kommt die Arbeitsleistung als ein wesentlicher Factor mit in Betracht, wie sich später zeigen wird.

Desgleichen kann hervorgehoben werden, dass nicht etwa die Summe der für den Tag angegebenen Wärme gerade die Haut durchsetzt, wenn wir gleich von jenem Theil der Wärme absehen wollen, welche in Form von Arbeit verausgabt worden ist. Für die Ausscheidungsart der bei der Zersetzung frei werdenden Energie hat Vierordt[1]) angegeben:

für die Erwärmung der festen und flüssigen Ausscheidungen	1,8 %
für die Erwärmung der Athemluft	3,5 %
für Wasserverdunstung in der Lunge	7,2 %
Summe	12,5 %

der Rest trifft auf Strahlung und Leitung.

Die statistischen Erhebungen über die menschliche Kost sind noch nach vielfachen Richtungen ausgedehnt worden. Man hat namentlich zu eruiren gesucht, in welchem Grade die verschiedenen Lebensumstände, vor allem die Verschiedenheit des Berufs (die Arbeitsleistung) das Bedürfniss nach Kraftzufuhr zu ändern im Stande sind. Es sind aber keineswegs alle diesbezüglichen Angaben von gleicher Bedeutung. Ich habe die von den zuverlässigsten Autoren angeführten Zahlen zu folgender Tabelle verwerthet. Die Versuchspersonen befanden sich sämmtlich bei gemischter Kost; nur in einigen Fällen ist das oben angegebene Verhältniss der Vertheilung des Eiweisses auf Animalien und Vegetabilien nicht eingehalten.

(Tabelle Nr. VIII siehe S. 381.)

Die niedrigste Zahl des Wärmewerthes trifft auf eine Angabe von Playfair. Es ist mir sehr fraglich, ob es sich dabei wirklich um die Beobachtung eines ausgewachsenen Individuums gehandelt habe und ob dasselbe sich wirklich auf seinem Bestand erhielt. Denn da man füglich bei der Zahl 1752 noch einen gewissen Abzug für die Kothbestandtheile zu machen hätte, so hinterbliebe so

1) Grundriss d. Phys. (2. Aufl.) S. 213.

Tabelle Nr. VIII.

Charakteristik	Eiweiss in Gramm	Fett in Gramm	Kohlehydr. in Gramm	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydr.	Summe	Beobachter
Minimalbedarf	57	14	340	233	130	1394	1752	Playfair
Arbeiter ruhend	71	28	340	291	260	1394	1945	Playfair
Arbeiter ruhend	137	72	352	562	670	1443	2675	Voit
Arzt	134	102	292	549	949	1197	2695	Forster
Arzt	127	89	262	520	828	1484	2832	Forster
Hausmeister	116	68	345	476	632	1414	2522	Forster
Dienstmann	133	95	422	545	883	1730	3158	Forster
Schreiner	131	68	494	537	632	2025	3194	Forster
Arbeiter	137	173	352	562	1609	1443	3614	Voit
Starke Arbeit	156	71	567	640	660	2325	3625	Playfair
Angestrengte Arbeit	184	71	567	754	666	2325	3739	Playfair

wenig an Wärmewerth, dass ein wirklich ausgewachsenes Individuum nicht einmal seinen Hungerbedarf (2300 Cal.) bestreiten könnte.

Auch der zweite Werth Playfair's ist ein sehr niedriger und kann unmöglich einem kräftigen Organismus zukommen. Im Uebrigen aber handelt es sich um Werthe, welche zweifellos kräftigen, normalen Individuen entlehnt sind. Die Zahlen lassen sich ungezwungen in drei Arbeitskategorien zusammenfassen.

(Tabelle Nr. IX siehe S. 382.)

Zur ersten Kategorie gehören Berufsarten, welche ihren Erwerb nicht nach der Grösse der materiellen Arbeitsleistung zu bemessen pflegen, und im Wesentlichen Arbeit nur insoferne, als

Tabelle Nr. IX.

Bezeichnung	Wärme-production Brutto in 24 Stunden	Wärme-production nach Abzug der Verbrennungswärme des Kothes	Die Wärme-production des Hungers = 100	Bemerkung
Hungerzustand	2303	2303	100	Ruhend im Respirationsapparate
Arbeitskategorie I	2631	2445	105	Arzt, Mechaniker, Hausverwalter
Arbeitskategorie II	3121[1])	2868[2])	125	Dienstmann, Schreiner
Arbeitskategorie III	3659	3362[3])	146	Raddreher etc.

sie zur Locomotion nöthig ist, zu leisten haben. Ihr mittlerer Kraftconsum ist 2445 Cal., also nur wenig mehr als bei Hunger.

Zur zweiten Kategorie zählen Personen mässiger Arbeitsleistung, zu welcher aber nicht nur die unteren Extremitäten benützt werden, sondern auch die Muskulatur der oberen Extremitäten. Der mittlere Kraftconsum beträgt etwa ein Fünftel mehr als bei den Personen der ersten Kategorie, 2868 Cal. Berechnet man für diese Leute als tägliche Arbeitsleistung, wie es zulässig ist[4]), 201,600 ^{kgm}, so sind diese auf Wärmemaass berechnet = 474 Cal. Das ist also der wirkliche Nutzeffect des Arbeiters. Da nun nach Danilewsky bis zu 50% der Kräfte im allergünstigsten Fall in Arbeit umgesetzt werden kann, dies aber nicht die Regel bildet, so kann man vielleicht einen mittleren Nutzeffect von einem Viertel anzunehmen berechtigt sein. Wenn nun 474 Cal. entsprechend an Arbeit gewonnen wird, so dürfte das

1) Mittel aus allen Bestimmungen vgl. oben S. 379.

2) 3121
− 253
= 2868

3) 3659
− 297
= 3362

4) Vierordt, Lehrb. der Physiol. S. 79.

Vierfache an Spannkraft zu diesem Zwecke umgesetzt worden sein; das wäre = 1896 Cal. Der Gesammtumsatz war = 2864 Cal., es verbleibt sonach

$$\begin{array}{r} 2864 \\ -\ 1896 \\ \hline 968 \text{ Cal.} \end{array}$$

welche nicht zur Arbeitsleistung benöthigt waren. Das Kraftmaass eines kräftigen Mannes beträgt für den Hungerzustand 2303 Cal., d. h. nach Abzug der für die Arbeit benöthigten Kräfte bleibt nicht einmal die Hälfte des Kraftumsatzes eines Hungernden über. Der Hungernde besitzt den lebhaften Kraftwechsel, um den abkühlenden Momenten gerecht zu werden (ebenso der Ruhende), geht man aber zur Arbeit über, so fällt ein grosser Theil jener Zersetzung, welche unterhalten wird, um die Abkühlung zu bestreiten, weg, indem die bei der Arbeit producirte Wärme dem Wärmeverluste des Körpers decken hilft.

Zur dritten Kategorie gehören Arbeiter mit einem täglichen Kraftmaass von 3362 Cal.; hierher zählen Arbeiter, deren Körper als Kraftmaschine zur Verwendung gelangt. Der Wärmezuwachs gegenüber der Kategorie II beträgt 494 Cal. Die Arbeiter Pettenkofer's und Voit's arbeiteten 9 Stunden hindurch an der Kurbel eines Rades mit bedeutendem Widerstande und brachten 7500 Umdrehungen im Tag zu Stande. Nimmt man an, dass die bei der vorigen Arbeitskategorie gemachte Berechnung auch auf diesen Fall zutreffe — was behufs einer Schätzung zulässig sein wird — so kämen etwa als Kraftconsum, der nicht gerade durch die zur Arbeit nöthigen Umsetzungen gedeckt werden muss, 968 Cal. in Betracht, es verbleiben für Arbeit

$$\begin{array}{r} 3362 \\ -\ 968 \\ \hline 2394 \text{ Cal.} \end{array}$$

Wenn ein Viertel davon als wirklicher Nutzeffect erhalten werden kann (vielleicht ist aber die ausnutzbare Kraft grösser), so verbleiben 600 Cal., die einem Arbeitswerth von 255000^{kgm} für den Tag entsprechen. Für die zweite Kategorie hatten wir 201600^{kgm} angenommen,

so dass die Mehrung nahezu an 26 % ausmacht. Die Vermehrung des Stoffumsatzes ist weit geringer (= 17 %). Es wäre ausserdem noch zu vermuthen, dass die angestrengtesten Arbeiter höchst wahrscheinlich mit einem grösseren Nutzeffecte als 25 % arbeiten werden.

Wie man aus der Vergleichung der Wärmewerthe des hungernden Menschen und des Arbeiters der ersten Kategorie entnehmen kann, steigert mässige Bewegung den Kraftumsatz nur unbedeutend[1]).

Die Menschen können unter Umständen noch weit mehr Spannkraft in andere Kräfteformen überführen, so z. B. hat man bei Bergleuten, landwirthschaftlichen Arbeitern, Forstarbeitern, wenigstens zu gewissen Zeiten, wenn Arbeit sich besonders häuft, noch grösseren Consum von Nahrungsstoffen constatirt, als selbst die bis jetzt angeführten extremsten Fälle zeigen. Allein gerade hier tritt es uns häufig entgegen, dass die Verköstigung durchaus keine rationelle ist. Wenn man die Fälle, in welchen zweifellos eine sehr unzweckmässige Ernährung stattfand und offenbar eine Verschwendung von Nahrungsstoffen eingetreten ist, von der Betrachtung ausschliesst, so verbleiben noch die Angaben, welche von Steinheil, H. Ranke, Liebig, Ohlmüller gemacht worden sind. Ich gebe hier zunächst die Werthe mit Hilfe der früher aufgestellten Standardzahlen; allein man kann gegen diese Art der Berechnung einen Einwand erheben.

(Tabelle Nr. X siehe S. 385.)

Die Bergleute Steinheil's lebten hauptsächlich von Vegetabilien, die Ziegelarbeiter verzehrten Mais und Käse, die Bauern- und Holzknechte Mehl und Schmalz und die türkischen Bauernknechte, welche Ohlmüller beobachtete, Mais und Bohnen. Die früher aufgestellten Standardzahlen sind hier nicht überall anzuwenden, so ist namentlich zu beachten, dass die verzehrten Eiweisskörper ganz verschiedener Natur, zumeist vegetabilischen Ursprungs

---

1) Bei einem Arzte ist bei gemischter Kost während 4 Tagen pro Tag 43,6 g bei 100° trockner Koth entleert worden. Die Bestimmung der Verbrennungswärme ergab pro 1 g:

4950 cal.,

so dass also für den Tag rund 216 Cal. von der Bruttowärme abzuziehen sind.

Tabelle Nr. X.

Charakteristik	Eiweiss in Gramm	Fett in Gramm	Kohlehydr. in Gramm	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydt.	Summe	Beobachter
Bergleute	133	113	634	545	1051	2600	4196	Steinheil
Ziegelarbeiter (italienische)	167	117*	675	685	1076	2767	4528	Ranke
Bauernknecht	143	108*	788	586	994	3231	4811	Ranke
Türkischer Bauernknecht	182	93*	968	746	856	3969	5571	Ohlmüller
Holzknechte	112	309*	691	459	2843	2833	6135	Liebig
Holzknechte	135	208*	876	553	1893	3592	6038	Liebig

* In diesen Fällen ist Butterfett verzehrt worden; daher 1g Fett mit 9,2 Cal. berechnet wurde.

sind. Von Fetten kömmt nur Maisfett und Schmalz wesentlich in Betracht. Für das Schmalz kann man nach Stohmann 9,2 Cal. pro 1g annehmen; das Maisfett steht seiner elementaren Zusammensetzung nach dem Butterschmalz nahe[1]), weshalb auch die für letzteres verwendete Verbrennungswärme beibehalten wurde. Gegen die Standardzahl für Kohlehydrate besteht kein Bedenken. Das gewichtigste Bedenken gegen die Berechnung der Wärmewerthe liegt darin, dass bei einer ganz ausschliesslichen Pflanzenkost, die Ausnutzung als ein ganz wesentlicher Factor in Betracht gezogen werden muss. Nicht für alle Fälle ist dies möglich; ich werde aber für zwei Fälle nemlich den von H. Ranke und Ohlmüller mitgetheilten Angaben, die Berechnung nach völlig einwandfreier Methode durchführen.

Die italienischen Ziegelarbeiter Ranke's verzehrten 1000g Mais nnd 178g Käse; der Mais ist so überwiegend, die Ausnützung des Käses so vorzüglich, dass nur auf ersteren Rücksicht zu nehmen

1) Siehe König, Die menschlichen Nahrungs- und Genussmittel Bd. 2 S. 247.

ist. Nach meinen Versuchen[1]) werden bei 1000 g Maiskost, 67 g Koth entleert und dieser enthält 4,6 % N, 17,3 % Fett, 16,3 % Asche, woraus ein Verlust von:

20,0 Eiweiss, 11,6 Fett und 24,5 Kohlehydraten

zu berechnen ist.

Die Einnahme beträgt	167 Eiweiss,	117 Fett,	675 Kohlehydrate
die Ausgabe „	— 20 „	12 „	24 „
also resorbirt	147 Eiweiss,	105 Fett,	652 Kohlehydrate.

Das Maisfibrin[2]) enthält 15,5 % N; die Berechnung der Eiweisskörper aus dem Stickstoffgehalt und die directe Bestimmung müssten also die gleichen Zahlen geben. Wir haben demnach pro 1 g Eiweiss den Werth 4,3 Cal. zu Grunde zu legen; für das Fett wird die Zahl 9,2 benützt.

Man hat im Ganzen also Wärme aus

Eiweiss	632
Fett	966
Kohlehydraten	2669
Summe	4267 Cal.

Mit Zugrundelegung der sonst benützten Berechnungsart erhalte ich: 4528 Cal., und nach Abzug von 8,11 % für den Koth (367 Cal.) ergibt sich 4161 Cal., d. h. der wahre Werth ist um 2,5 % höher.

In einem zweiten Falle ergibt sich: die türkischen Bauernknechte verzehrten

	182 Eiweiss,	93 Fett,	968 Kohlehydrate
für die Ausnützung geht ab[3])	29 „	17 „	32 „
also resorbirt	153 Eiweiss,	76 Fett,	936 Kohlehydrate.

Da auch hier fast nur Mais (1304 g) neben geringen Mengen von Fisolen (154 g) genossen wurden, können die für den vorigen Fall benützten Wärmewerthe wieder zur Anwendung kommen.

---

1) Ueber die Ausnützung etc. Bd. 15 S. 140.
2) Nach Ritthausen a. a. O.
3) Ohlmüller, Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 394.

Man hat dann: Wärme aus Eiweiss		658 Cal.
„	Fett	699 „
„	Kohlehydraten	3888 „
	Summe	5245 Cal.

In der früheren Berechnung waren 5571 Cal. Bruttowerth erhalten worden, also abzüglich von 452 Cal. für den Koth bleiben 5119 Cal. Die beiden Methoden der Berechnung stimmen in diesen Fällen auf 2,4 % mit einander überein. Wir können aus diesem, wie ich glaube, schliessen, dass auch für andere Fälle die erste Berechnungsart zulässig sein muss.

Nur bezüglich der beiden von Liebig mitgetheilten Fälle möchte ich noch eine Bemerkung anknüpfen; es dürfte im Allgemeinen wohl wünschenswerth erscheinen, wenn sie durch andere Beobachtungen ergänzt oder bestätigt wurden. Man hat bei Betrachtung dieser ausserordentlich hohen Zahlen[1]) auch den Eindruck, dass die Grenzen der Resorption schon fast erreicht sind. Ueber 300 g Fett zu erreichen, wie in dem einen Fall geschieht, muss man nach meinen Versuchen[2]) für irrational halten; bei einer diesen Werth wenig übersteigenden Menge wurden 13 % im Koth verloren. Auch dürfte die Annahme, dass das in Form von Amylaceen bei diesen Leuten zugeführte Nahrungsmaterial zu den schwerer ausnützbaren gehöre, nicht von der Hand zu weisen sein, da es sich um Zufuhr von Gebäcken aus den auf dem Lande üblichen Mehlen, welche viel Excremente liefern, handelte.

Es wird demnach der Kraftconsum vielleicht kleiner sein, als wir nach Liebig's Angaben berechneten; doch kann man eine Grenze angeben innerhalb deren der richtige Werth liegen muss. Da in meinen Versuchen bei Schwarzbrod 15 %, bei maximaler Fettfütterung beim Menschen 13 % verloren wurden, so kann etwa in maximo der von mir berechnete Kraftwerth um 5 % zu hoch sein (da ja schon angenommen wurde, dass 8,11 % mit dem Kothe zu Verluste gehen). Es bleibt, selbst wenn wir hierfür noch einen

1) Das Mittel beider Versuche gibt 6086 Cal. Bruttowärme — 493 Cal. = 5593 Cal.

2) Vgl. Zeitschr. für Biologie Bd. 15 S. 176.

Abzug machen, noch ein beträchtliches Kraftmaass, nämlich 5360 Cal. Dies befähigt zu einer ganz abnormen Arbeitsleistung[1]). Nun darf man freilich nicht vergessen — und dies gilt nicht allein für die Liebig'schen Beobachtungen, sondern auch für die Ranke's, Steinheil's etc. —, dass zu dieser Kategorie von Arbeit keineswegs Menschen von dem mittleren Gewicht von 67 Kilo tauglich sind; es wird vielmehr das Durchschnittsgewicht weit höher sein. Allein selbst wenn man den Liebig'schen reducirten Zahlen ein Körpergewicht von 80 Kilo zu Grunde legt, trifft immerhin pro Kilo und 24 Stunden 67 Cal., indes aber für das Körpergewicht von 67 Kilo bei angestrengter Arbeit nur 50,1 Cal. pro Kilo und 24 Stunden sich fanden. Die Liebig'schen Zahlen stellen sonach den maximalsten Kraftconsum dar. Legt man die übrigen Werthe zu einem Mittel zusammen, so erhält man 5213 Cal. und nach Abzug der Verbrennungswärme des Kothes (423 Cal.):

4790 Cal.

b) Erwachsene im Alter.

Durch das Alter treten eine grosse Anzahl von Veränderungen in den Organismen ein; diese drücken sich selbstverständlich auch in einer Verschiedenheit der Stoffzufuhr aus. Forster[2]) hat in zwei Anstalten, in welchen alte Leute in Pfründe lebten, Bestimmungen ausgeführt. Es ist uns aber nicht bekannt, wie viel alte Männer verzehrten, weil in den eben genannten Anstalten einerseits nur Weiber, andererseits aber Männer und Weiber zusammen verpflegt wurden.

(Tabelle Nr. XI siehe S. 389.)

Da im Mittel ein kräftiger Erwachsener pro 24 Stunden 2303 Cal.[3]) im Hungerzustande verbraucht, so könnte man meinen,

1) Da die Beobachtungen Liebig's für den in unseren Alpen strengen Winter gelten und da sich diese Arbeiter ja andauernd im Freien befinden, so kommen neben der Arbeitsleistung jedenfalls die abnormen klimatischen Verhältnisse mit in Betracht.

2) Vgl. Untersuchung der Kost in einigen öffentlichen Anstalten von C. Voit S. 186 ff.

3) Vgl. oben S. 369.

Tabelle Nr. XI.

Charakterisirung	Eiweiss in Gramm	Fett in Gramm	Kohlehydr. in Gramm	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydraten	Summe der Cal.
Anstalt von Pfründnerinnen	79	49	266	324	456	1091	1871
Anstalt von Pfründnern und Pfründnerinnen	91,5	45,2	331,6	375	418	1359	2152

der Kraftverbrauch alter Leute sei ganz abnorm eingeschränkt; dies um so mehr, als bei den aufgeführten Werthen ja noch Abzüge für den Koth gemacht werden müssen, wobei man dann nur 1719 resp. 1978 Cal.[1]) erhält. Man muss aber zuvörderst erwägen, dass es sich hier um Beobachtungen an Frauen, sowie an Frauen und Männern zusammengenommen handelt, also Körpergewichte vorliegen, welche sehr weit von dem Mittelmaass von 67 kg abweichen. Dieses Missverhältniss im Körpergewicht wird dadurch noch vergrössert, dass im Alter überhaupt das Körpergewicht abnimmt. Aus den Zahlen von Quetelet berechne ich als Mittelwerth für Frauen von 60 bis 80 Jahren 51,83 kg und für Männer und Frauen zusammen 55,86 kg.

Wenn Organismen verschiedener Körpergrössen mit einander in ihrem Kraftverbrauch verglichen werden sollen, genügt es nicht die Werthe für ein Kilo zu berechnen. Man muss, wie ich dargethan habe, die relative Entwicklung der Körperoberfläche als Factor mit in Betracht ziehen. Mit Zugrundelegung der Constante 12,31[2]) berechnet sich nun für die Weiber 17113 qcm Oberfläche und für Männer und Weiber zusammengenommen im Mittel 17988 qcm Oberfläche; es werden demnach in 24 Stunden an Wärme für 1 qm Oberfläche geliefert:

Bei den Weibern 1004 Cal.
Bei Männern und Weibern 1099 Cal.

Der Werth für Männer und Weiber zusammengenommen, ist höher als der für die Weiber allein, woraus zu schliessen ist, dass

1) 1855 — 152, 2152 — 174.

2) Es ist noch nicht bestimmt erwiesen, dass dieser Werth für Weiber gilt. Doch können keine wesentlichen Differenzen vorhanden sein.

die alten Männer im Allgemeinen einen etwas lebhafteren Kraftconsum besitzen wie die Weiber.

Da im Hungerzustand ein kräftiger Mann pro 1 qm Oberfläche 1134 Cal. producirt, so bleiben die Weiber mit 1004 Cal. unter dieser Zahl. Es kann der Unterschied wahrscheinlich auf die Lebensgewohnheiten eines kräftigen Mannes und einer alten Frau zurückgeführt werden.

Unter der Annahme, es haben sich unter den von Forster untersuchten Personen ebenso viele Männer wie Weiber befunden, erhält man für einen alten Mann als Wärmewerth pro 1 qm Oberfläche

1194 Cal.,

also einen Werth, der fast vollkommen mit dem eines kräftigen hungernden Mannes zusammenfällt. Er ist kleiner als der Werth, welchen man für einen mittleren Arbeiter berechnen kann; aber es leisten eben derartige Personen keine Arbeit, ausser jener, welche zur Fortbewegung ihres Körpers nöthig ist. Der Vergleich würde vielleicht am richtigsten mit dem ruhenden Arbeiter angestellt. Für diesen finde ich pro 1 qm Oberfläche 1189 Cal., was mit obigem Werthe von 1194 Cal. vollkommen übereinstimmt.

c) Der Kraftwechsel im jugendlichen Alter.

Ein grosses Interesse bietet die Betrachtung des Kraftwechsels eines wachsenden Organismus. Wie bekannt kann man zwischen einer anfänglichen Periode des raschen Wachsthums und einer späteren allmählich erfolgenden unterscheiden. Erstere reicht nur wenig über das erste Jahr hinaus. In den beiden Wachsthumsperioden sind ausserdem die Lebensbedingungen und die Lebensäusserungen der Individuen recht verschieden. Im ersten Jahre befinden sich die Kinder fast durchgehends in warmer Umgebung; man hält die abkühlenden Einflüsse möglichst fern, auch die Kost führt, in der Regel wenigstens, nur Milch zu. Um diese Zeit sind auch die Muskelbewegungen der Kinder nur wenig intensiv und wegen des Unvermögens eigener Locomotion ruhen manche Muskelgruppen so zu sagen völlig.

Die Bedingungen gestalten sich aber wesentlich anders, wenn mit steigender Entwicklung das Gehen erlernt wird. Es wird dann auch der Bann der Kinderstube durchbrochen und Leibesübung und frische Luft wird jedem normal heranwachsenden Kinde geboten.

Diese verschiedenen Lebensbedingungen spiegeln sich auch im Kraftverbrauche wieder, wie wir sehen werden.

Betrachten wir zunächst das Kraftmaass des Säuglings.

Cammerer[1]) hat für ein Mädchen den Stoffverbrauch während des ersten Jahres festgestellt. Forster[2]) gibt die Kost eines einmonatlichen Knaben an; legt man letztere Angabe mit den von Cammerer für die 30—33 Lebenstage angeführten Werthe zusammen, so erhält man:

Mittleres Gewicht 4,03 kg, Eiweissverbrauch 18 g, Fettverbrauch 24,3 g, Kohlehydrate 30,6 g. Die entsprechende Wärmewerthe sind mit Berücksichtigung, dass in diesen Fällen nur Milch verzehrt wurde

	79,2	Cal.	aus Eiweiss[3])
	223,5	„	„ Fett[3])
	119,3	„	„ Milchzucker[3])
Summe	422,0	Cal.	

Wenn bei Milchkost etwa 5,4 %[4]) der organischen Substanz mit dem Kothe abgeht, so sind in unserem Falle rund 23 Cal. von der Bruttowärme abzuziehen, so dass dann 399 Cal. verbleiben. Das ist aber keineswegs die wirkliche zur Wärmebildung (im weitesten Sinne) verbrauchte Kraftsumme. Denn um diese Zeit — im ersten Lebensmonat — wird reichlich mehr an Kost zugeführt als verbrannt wird, weil das Kind rasch wächst. Es findet Cammerer[5]) pro 1 kg Körpergewicht eine tägliche Gewichtszunahme von 7,7 g, woraus für unsern Fall 31,03 g tägliche Gewichtszunahme treffen. Letztere besteht aus Knochen, Fett und

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 14 S. 388.

2) Handbuch der Ernährungslehre S. 127.

3) 1 g Casein liefert 4,4 Cal.
   1 g Butterfett „ 9,2 Cal.
   4 g Milchzucker „ 3,9 Cal.

4) Zeitschr. f. Biologie Bd. 15 S. 134.

5) a. a. O. S. 389.

eiweissartige Organsubstanz. Nimmt man nun an, es sei Zellmaterial hinterblieben, das dem Muskel ähnlich zusammengesetzt ist, so wird man nur wenig irren und zwar wird man die Summe der Spannkraft, welche an den Körper angelagert wird, etwas unterschätzen. Bei rund 25 % Trockensubstanz der angesetzten Stoffe und 4,0 Cal. pro 1g dieser Trockensubstanz entsprechen 31,03g Ansatz = **31,0 Cal.** Diese sind sonach von der täglichen Kraftzufuhr noch abzuziehen, so dass man hat:

399
31
———
368 Cal.

Abgesehen von dem Kraftwechsel der ersten Lebenstage, ist dieses also das niedrigste Maass des menschlichen Kraftwechsels. Die Grenzen des letzteren schwanken zwischen 368 Cal. und 5593 Cal. pro 24 Stunden.

Für Kinder, welche das Säuglingsalter überschritten haben, stehen Beobachtungen von Cammerer[1]), Uffelmann[2]), Hasse[3]) zur Verfügung. Da die Beobachtungen an Kindern zweifellos mit grösseren Schwierigkeiten behaftet sind, so habe ich die Werthe, welche die drei genannten Autoren gegeben haben, zusammengelegt, aber nicht etwa, indem die gleichaltrigen Kinder zusammengenommen wurden, sondern die gleichgewichtigen ohne Rücksicht auf das Alter. Es lassen sich, wenn man die im Gewichte zunächst stehenden in eine Gruppe bringt, deren fünf bilden. Die Kinder sind durchweg bei gemischter Kost gehalten worden, demnach können hier wiederum die schon früher verwendeten Standardzahlen benützt werden. Die Werthe, welche man so erhält, sind nachstehende

(Tabelle Nr. XII siehe S. 393.)

Der Kraftwechsel der Kinder steigt allmählich an in Folge des Körperwachsthums. Die Art des Ansteigens ist keine gleichmässige, direct vom Körpergewicht abhängig. Gleicht man nämlich den Einfluss der Verschiedenheit des Körpergewichtes ab, so erkennt man,

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. 14 S. 383 ebenda Bd. 16 S. 24.
2) Handbuch der privaten und öffentlichen Hygiene des Kindes (1881).
3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 9 S. 558.

Tabelle Nr. XII.

Körpergewicht der Kinder	Eiweiss in Gramm	Fett in Gramm	Kohlehydr. in Gramm	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydraten	Summe der Cal.	Cal. nach Abzug des Kothes
11,8	44,7	35,6	131	183	331	537	1051	966
16,4	57,4	44,0	165	235	409	676	1320	1213
23,7	62	43	215	254	400	881	1535	1411
30,9	76	71	236	313	660	968	1941	1784
40,4	86	89	271	353	828	1111	2292	2106

dass die Kinder einen relativ höheren Kraftwechsel besitzen als Erwachsene und zwar mit Abnahme des absoluten Gewichtes nimmt die relative Grösse der Verbrennung zu. Ich setze den Zahlen noch bei die Grösse des relativen Kraftconsums eines Erwachsenen bei mittlerer Arbeit:

Ein Mensch von 4 kg Körpergew.[1]) produc. in 24 Std. an Cal. 91,3
" " " 12 kg " " " 24 " " " 81,5
" " " 16 kg " " " 24 " " " 73,9
" " " 24 kg " " " 24 " " " 59,5
" " " 31 kg " " " 24 " " " 57,7
" " " 40 kg " " " 24 " " " 52,1
" " " 67 kg " " " 24 " " " 42,2

Einige hierher gehörige Werthe sind schon von Vierodt berechnet worden. Die relativ lebhafte Verbrennung in jugendlichen Organismen ist längst vorausgesetzt und aus anderen Untersuchungen geschlossen worden, ehe man genaue Angaben über die absolute Grösse derselben zu machen im Stande war. Man wusste, dass junge

1) Nach Quetelet's Gewichtstabelle würde das entsprechende Alter sein:
1 Monat,
2½ Jahr,
5 "
10 "
12½ "
14½ "

Thiere dem Hunger rasch unterliegen, dass die O-Aufnahme junger Thiere erhöht ist; man kannte die Nahrungsmengen junger Thiere, die beträchtlichen Mengen von Nahrungsresten, welche sich jederzeit in ihrem Darme finden, die Milchmengen, welche Säuglinge aufzunehmen pflegen. Erst die Kenntniss der Verbrennungswärme lässt die von den oben aufgeführten Forschern angegebenen Substanzen in ein einheitliches Maass überführen und so eine absolute Angabe über das Kraftmaass machen.

Bezüglich der Ursache des grösseren Stoffverbrauchs junger Thiere sind schon von anderen Autoren einige Erklärungsversuche gemacht worden; freilich haben manche die Thatsache auch ohne Commentar gelassen, indem sie eben die jungen Zellen als lebhafter thätig bezeichneten. Einen speciellen Erklärungsversuch hat J. Ranke[1]) gemacht. Er meint: „Der Jugendzustand besitzt im Verhältniss einen höher entwickelten Drüsenapparat als das reife Alter. Es ist das einer der Gründe, warum der Stoffwechsel in der Jugend stärker ist, als im Erwachsenenalter. Einen anderen Grund fanden wir in der relativ grösseren Blutmasse bei jugendlichen Individuen." Voit hat früher eine Erklärung für die relativ höhere Eiweisszersetzung junger oder kleiner Thiere gegeben, indem er auf den relativ lebhaften Kreislauf hinwies.

Man kann, wie ich meine, die Erscheinungen des Kraftconsums der Zellen nicht aus den Eigenschaften heraus erklären; da ja die äusseren Einflüsse, welche auf die Thiere wirken, der Urgrund für die Gestaltung des Organismus sein müssen, so haben wir zunächst auch nur in äusseren Ursachen den Antrieb zu Aenderungen in der Grösse (nicht Qualität) des Kraftwechsels zu suchen.

Wie ich schon früher nachgewiesen habe, erkennt man auch bei erwachsenen Thieren, welche sich in ihrer Körpergrösse unterscheiden, ähnliche bedeutende Unterschiede in dem relativen Kraftwechsel wie bei jungen Thieren. Ich theile hier die Werthe, welche ich an Hunden verschiedener Grösse, die sich aber alle unter vollkommen gleichartigen Bedingungen befanden, erhalten habe, mit. Vergleicht man die Zahlen von Mensch und Hund, so wird man erkennen, dass es fast die gleichen Werthe sind, um welche

1) Die Blutvertheilung und der Thätigkeitswechsel der Organe 1871 S. 134.

es sich handelt, nur die Variation des Körpergewichtes ist bei Mensch und Hund etwas verschieden.

Bei ausgewachsenen Hunden ergab sich (gleiche Temperatur, Hungerzustand, gleiche Ventilation und gleiche Ruhe).

Bei einem Körpergewicht von

3 kg	liefert	der	Hund	in	24	Stunden	90,9	Cal.	pro	1 kg
6 kg	"	"	"	"	24	"	68,1	"	"	1 kg
10 kg	"	"	"	"	24	"	61,2	"	"	1 kg
18 kg	"	"	"	"	24	"	46,1	"	"	1 kg
20 kg	"	"	"	"	24	"	48,0	"	"	1 kg
24 kg	"	"	"	"	24	"	40,9	"	"	1 kg
31 kg	"	"	"	"	24	"	38,2	"	"	1 kg

Die beiden Reihen mit einander verglichen, ergeben offenbar ganz ähnliche Gesetze für das Wachsthum der Zahlen. Ich habe nun nachgewiesen, dass die Zunahme der relativen Oxydation verschieden grosser Hunde im Wesentlichen nur abhängig ist von der relativen Oberflächenentwicklung. Lässt sich nun für die Kinder die gleiche Gesetzmässigkeit darthun? Wie wächst für sie die Oberfläche? Man wird nach meinen Beobachtungen schliessen dürfen, dass die häufig angeführte Anschauung, die jungen Thiere hätten einen specifisch lebhaften Stoffwechsel, der durch eine gewisse Beschaffenheit des jugendlichen Protoplasmas als erste Ursache bedingt sei, nicht erwiesen ist, dass vielmehr die Thiere im Heranwachsen wohl eine sehr verschiedene Intensität des Gesammtstoffwechsels im Hungerzustande zeigen müssen, dass aber jedesmal die Intensität unter vergleichbaren Verhältnissen ein Ausdruck für die relative Oberflächenentwicklung sein müsse.

Die im Vorstehenden angeführten Versuche entsprechen nicht den von mir geforderten genau vergleichbaren Verhältnissen; so pflegt, wie schon hervorgehoben, ein Kind im ersten Lebensmonate ruhig zu liegen und wird in warmer Umgebung gehalten; die übrigen Altersklassen des Kindes sind im Gegensatze hierzu der freiesten Muskelbewegung hingegeben. Ausserdem besteht aber noch der Einwand, dass die an den einzelnen Kindern angestellten Versuche nicht zur selben Jahreszeit und in demselben Klima angestellt sind. Während die Hauptzahl der Beobachtungen auf Deutschland fällt,

sind einige der Beobachtungen von Hasse in Petersburg angestellt, und diese weisen in der That im Allgemeinen etwas höhere Werthe für den Stoffverbrauch auf, als gleichgewichtige Kinder unseres Klimas. Aus diesem Grunde dürften die Zahlen für die Kinder von 16,4, 31 und 40 Kilo Körpergewicht, gegenüber den andern Zahlen um einiges zu hoch ausgefallen sein.

Es lässt sich aber trotz dieser Schwierigkeiten, wie ich denke, zeigen, dass der von mir zuerst experimentell erwiesene Einfluss der relativen Oberflächenentwicklung neben den andern schon benannten Momenten (Körperbewegung oder Körperruhe) vollständig genügt, um uns den relativ hohen Kraftwechsel der Kinder zu erklären. Ich habe daher in die folgende Tabelle ausser den absoluten und relativen Werthen des Kraftconsums der Kinder auch eingetragen, wie gross die Oberfläche (in Quadratcentimeter) für die aufgeführten Körpergewichte ist. Es ist dabei berücksichtigt, dass Kinder bis zu 16 kg Gewicht eine andere Art der Oberflächenentwicklung zeigen, wie solche von höherem Körpergewichte. Endlich wurde noch der Quotient $\frac{\text{Wärme}}{\text{Oberfläche}}$ in Stab 5 eingetragen und zwar die Werthe für 1 Quadratmeter.

Tabelle Nr. XIII.

	Cal. in 24 Stunden nach Abzug d. Verbrennungswärme des Kothes	Pro 1 kg Cal. in 24 Stunden	Oberfläche berechnet in Quadratcentimeter	Pro 1 qm Oberfläche wird Wärme geliefert
Kinder von 4,03 kg	368	91,3	3013	1221
Kinder von 11,8 kg	966	81,5	7191	1343
Kinder von 16,4 kg	1213	73,9	7681	1579
Kinder von 23,7 kg	1411	59,5	10156	1389
Kinder von 30,9 kg	1784	57,7	12122	1472
Kinder von 40,4 kg	2106	52,1	14491	1452
Mann bei mittlerer Arbeit. 67 kg	2843	42,4	20305	1399

Die Wärmeproduction für die Einheit der Oberfläche ist sonach am geringsten bei dem lebhaft wachsenden Kinde, was nach dem früher Gesagten wohl geradezu gefordert werden müsste. Sie steigt dann bei Kindern mit zwei Jahren, noch mehr in der nächsten Gruppe, sinkt wieder und steigt zum zweiten Mal. Im ganzen steht den Kindern der ersten Gruppe mit 1233 Cal. pro 24 Stunden ein Mittelwerth für alle übrigen mit 1447 Cal. gegenüber; es kann also, da niemals mehr ein dem ersteren ähnlicher niedriger Werth wiederkehrt, der geringere Kraftconsum der Säuglingsperiode als feststehend betrachtet werden,

Die übrigen Werthe schwanken um den Mittelwerth wie folgt:

— 7,2 %
+ 7,2 %
— 4,1 %
+ 1,8 %
+ 0,3 %

woraus ersichtlich ist, dass die Abweichungen vom Mittelwerth unbedeutend sind und ausserdem, dass keine mit dem Alter variirende Gesetzmässigkeit besteht. Die angestellten Berechnungen erweisen also zur Genüge, den von mir früher aufgestellten Satz, dass auch für die Jugend die Aenderung der relativen Oberflächenentwicklung die wesentliche Ursache für die Grösse ihres Kraftwechsels bildet; als Nebenursache kommt bei den frei lebenden Individuen die Arbeitsleistung mit in Betracht.

Während der Säugling vornehmlich ruht, leisten die Kinder, welche die Fähigkeit zu gehen erlangt haben, eine nicht unbeträchtliche Arbeit [1]).

Eine Reihe secundärer Erscheinungen, welche schon früher beobachtet und festgestellt wurden, sind die Folgen des lebhaften Kraftconsums

1. die relativ vermehrte Blutmenge jugendlicher Organismen,
2. die rasche Umlaufszeit des Blutes,
3. die Verschiedenheit in der Entwicklung des Drüssenapparates.

1) Nicht durch das Gehen allein, sondern dadurch, dass sie nun alle Muskelgruppen kräftig üben.

Interessant ist noch folgende Zusammenstellung:

	liefert in 24 Std. pro 1 qm Oberfläche
Erwachsener hungernd in Ruhe	1134 Cal.
„ bei mittlerer Kost u. Ruhe	1189 „
Säugling bei Muttermilch	1221 „
Erwachsener bei mittlerer Arbeit	1399 „
Kind bei mittlerer Kost	1447 „

Sonach ist der jugendliche Organismus, abgesehen von der Säuglingsperiode, in seinem Kraftconsum dem mittleren Arbeiter gleichzustellen. Gegenüber dem Greisenalter hat man, da nach meinen Untersuchungen von Greisen pro 1 qm Oberfläche nur 1194 Cal. in 24 Stunden geliefert wurde, eine Steigerung von 21 %.

Es sind auch von Vierordt[1]) und Danilewsky[2]) Berechnungen des Wärmewerthes der Kost von Kindern angestellt worden. Da Vierordt die Frankland'schen Zahlen und Danilewsky seine eigenen zu Grunde gelegt hatte, und beide den wahren physiologischen Verbrennungswerth des Eiweisses nicht kannten, so sind die früheren Angaben allenfalls Näherungswerthe. Vierodt hat auch angegeben, dass die relativ grosse Wärmeabgabe eines Neugebornen in etwas der relativ vermehrten Oberfläche entspreche. Diese Folgerung, dass die Oberflächenentwicklung mit ein Factor für den Stoffverbrauch sein müsse, ist schon von Bergmann gemacht worden. Es hat dagegen an dem stricten Nachweis der Abhängigkeit von der relativen Oberflächenentwicklung gefehlt.

Der Einfluss den die Oberflächenentwicklung auf den Kraftverbrauch ausübt, ist ein ganz ausserordentlicher. Wenn wir erkennen wollen wie gross die Unterschiede sind, welche durch die Oberflächenentwicklung zwischen dem Säugling und einem Manne bestehen, müssen wir beide annähernd unter gleichen Verhältnissen betrachten. Da der Säugling offenbar ein „ruhender“ Organismus

1) Die Physiologie des Kindesalters.
2) Archiv f. d. ges Physiol. a. a. O.

ist, so ist ihm der Kraftconsum eines ruhenden Mannes gegenüber zu stellen; man hat dann

in der Säuglingsperiode trifft auf 1 g Körpergewicht an Cal. in 24 Stunden 91,3

beim ruhenden Erwachsenen[1] 36,0

Die Verschiedenheit der relativen Oberfläche lässt sonach den Kraftconsum des Säuglings um 253 % gesteigert erscheinen; dieser ungeheueren Wirkung gegenüber erscheint es nahezu geringfügig, wenn wir durch angestrengte Thätigkeit unseren Kraftconsum um 38 % zu steigern vermögen[2]. Es ist auch begreiflich, dass trotz der mannigfachen Lücken in unserer Kenntniss des Stoffverbrauchs der Kinder das Gesetz der Wirkung der relativen Oberflächenentwicklung zum Ausdruck kommen muss.

IV. Die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe am Kraftwechsel.

Ueber die Grösse des Kraftwechsels des Menschen unter verschiedenen Umständen haben die bis jetzt aufgeführten Untersuchungen genügend Aufschluss ertheilt. Wir sehen als wesentliche Ursache auftreten die Verschiedenheit der Körpergrösse und die Verschiedenheit der Arbeitsleistung, welche den einzelnen Individuen zukommt, (zu welchen hinzuzukommen hätte der Einfluss des Klimas, der Jahreszeit, der Bekleidung).

Wir sind demnach leicht in der Lage uns ein allgemeines Bild von dem Kraftverbrauch eines Individuums zu machen, dessen Leistungen und Körpergrösse wir kennen[3].

Ein ganz ausserordentliches Augenmerk richtet sich aber darauf, inwieweit die Menschen in verschiedenem Lebensalter ihren Nahrungsbedarf durch verschiedene Nahrungsstoffe decken. Es braucht ja nicht ausführlich besprochen zu werden, dass die Bedeutung der einzelnen Nahrungsstoffe für den Organismus eine verschiedene ist, indem das Eiweiss im Wesentlichen zum Aufbau der Organe nöthig ist, Fette und Kohlehydrate zu deren Unterhalt.

1) 67 kg liefern in 24 Stunden 2446 Cal.

2) Vgl. oben S. 382, die extremsten Fälle Liebig's abgerechnet.

3) Arbeitsleistung.

Man hat früher, ehe man einen klaren Einblick in die Vertretungswerthe hatte, gar nicht mit Sicherheit an diese Frage herantreten können; gesetzt den Fall, es hätte sich ein Organismus mit 120 Eiweiss und 629 Kohlehydrat erhalten, ein anderer aber mit 120 Eiweiss und 274 Fett, so wären wir ohne Kenntniss der wahren Vertretungswerthe nicht im Stande ein Urtheil zu fällen, ob in beiden Fällen das Eiweiss die gleiche Rolle spielte[1]? Denn im ersten Falle würde man 16% der Gesammtzufuhr an Eiweiss berechnen, im letzten aber 40%! und doch ist, wenn man mit Hilfe der calorischen Werthe die Berechnung ausführt, die Betheiligung des Eiweisses die gleiche.

Wie die Wage zur Bestimmung der Maasse eines Körpers das wichtigste Instrument ist, so hilft uns nur die Kenntniss der isodynamen Grössen zur richtigen Erkenntniss der Zusammensetzung der menschlichen Kost. Man hat früher vielfach namentlich das Verhältniss von stickstoffhaltigen zu stickstofffreien Stoffen bestimmt, indem man in der Regel das Eiweiss als Einheit des Vergleiches wählte. Selbst mit Zugrundelegung der wahren Vertretungswerthe für die N-freien Stoffe ist auch dieses Verfahren unzulässig, denn es reducirt doch schliesslich alles wiederum auf zwei Stoffe, die an sich aber ungleichwerthig sind. (Häufig sind die Kohlehydrate in das „Fettäquivalent“ ungerechnet worden.) Es liegt mir durchaus ferne einen Vorwurf zu erheben, dass viele Autoren in dieser Weise vorgegangen sind.

Die einfachste und einwandfreieste Methode hat zu bestimmen, wie viel an Kraft aus Eiweiss, wie viel aus Fett, wie viel aus Kohlehydraten in der Kost des Menschen sich findet. In diesem Sinne sind die folgenden Tabellen aus den früher schon angegebenen Werthen berechnet worden.

Gerade für diese Frage wäre es von grosser Bedeutung zu wissen, inwieweit durch eine verschiedene Ausnützung der einzelnen Nahrungsstoffe die assimilirten Nahrungsbestandtheile von

1) Auch die Berechnung nach den früher zwischen Kohlehydraten und Fetten angenommenen, aber inzwischen durch meine Versuche corrigirten Vertretungswerthe (100 : 175 statt 220—250) kann kaum genäherte Zahlen liefern.

den in den Darm eingeführten Speisen verschieden sind; allein es fehlen, wie oben schon angegeben wurde, die nöthigen Anhaltspunkte für die Berechnung. Es sind also nur die Bruttowerthe der Zufuhr zu Grunde gelegt.

Für den normalen Erwachsenen hat man unter verschiedenen Umständen folgende Werthe für die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Verbrennung:

Tabelle Nr. XIV.

	Nr.	Charakteristik	Die Cal. aus Eiweiss machen in %	Die Cal. aus Fett machen in %	Die Cal. aus Kohlehyd. machen in %
I	1	Junger Arzt	20,4	35,2	44,4
	2	Junger Arzt	18,4	29,2	52,4
	3	Hausmeister	18,9	25,1	56,0
II	4	Dienstmann	17,2	28,0	54,8
	5	Schreiner	16,8	19,8	63,4
	6	Mittlerer Arbeiter von Playfair	15,5	15,1	69,4
	7	Mittlerer Arbeiter von Moleschott	16,9	11,7	71,4
	8	Mittlerer Arbeiter von Wolff	16,2	10,7	73,1
	9	Soldat nach Hildesheim	18,3	12,3	69,4
	10	Mittlerer Arbeiter nach Voit	16,0	17,0	67,0
III	11	Starke Arbeit	17,6	18,3	64,1
	12	Angestrengte Arbeit	20,1	17,6	62,2

	Nr.	Charakteristik	Die Cal. ausEiweiss machen in %	Die Cal. aus Fett machen in %	DieCal.aus Kohlehyd. machen in %
IV	13	Bergleute	13,0	25,0	62,0
	14	Ziegelarbeiter	15,2	23,8	61,0
	15	Dienstknecht auf dem Lande	12,2	20,7	67,1
	16	Italienischer Dienstknecht auf dem Lande	13,4	15,4	71,2
V	17	Holzknecht	7,5	46,3	46,2
	18	Holzknecht	9,2	31,2	59,6

Die niedrigen früher aufgeführten Zahlen Playfair's[1]) sind weggeblieben, ebenso einige Werthe, bei welchen die Zusammensetzung der Kost nicht dem Belieben des Individuums überlassen blieb.

Man erkennt auf den ersten Blick, dass die Zahlen trotz der Mannigfaltigkeit der Bedingungen eine grosse Regelmässigkeit zeigen.

Man wird bei der ausserordentlichen Verschiedenheit der Nahrungsmittel füglich nur erstaunt sein können, wie gleichmässig doch die einzelnen Individuen ihre Kost zusammenzusetzen pflegen. Damit will ich nicht übersehen, dass gewisse Schwankungen vorhanden sind und eine gewisse Breite für die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Gesammtwärmeentwicklung besteht; allein dieselbe ist, wenn wir zunächst auf das Eiweiss unser Augenmerk richten, nicht bedeutend. Abgesehen von einer unteren Grenze, könnte der Mensch ja alle möglichen Eiweissmengen zu sich nehmen, aber wir sehen in der Tabelle nicht, dass irgend jemand, dem die Wahl der Nahrung freisteht, etwa einmal die Hälfte seines Kraft-

1) Vgl. oben Tabelle Nr. VIII auf S. 380.

bedarfes mit Eiweiss deckte oder ähnliches. Die Betheiligung des Eiweisses an der Verbrennung ist eine viel begrenztere; in maximo werden etwa ein Fünftel des täglichen Kraftwerthes der Kost als Eiweiss zugeführt. Unter diesem Werth finden die Schwankungen statt; sie sind klein und zeigen eine bestimmte Abhängigkeit.

1. Man weiss durch eingehende Untersuchungen, namentlich von Pettenkofer und Voit, dass bei der Arbeit in der Regel stickstofffreie Körper verbrannt werden; d. h. dass sie die Kraftquelle bilden. Man kann dann hieraus ableiten, dass bei zunehmender Arbeitsleistung die Menschen demnach relativ weniger Spannkraft aus Eiweiss zu entnehmen brauchten. Unsere Tabelle ist absteigend so geordnet, dass eine zunehmende Arbeitsleistung der Individuen zum Ausdruck kommt. Nun scheint sich die aus den Angaben von Pettenkofer und Voit gezogene Schlussfolgerung in der That zu bestätigen. Bei den kräftigsten Arbeitern der Kategorie V ist die Betheiligung des Eiweisses an der Verbrennung in der That am geringsten, nur 9,2 — 7,5 %. Auch die Gruppe IV zeigt noch einen niederen Werth für das Eiweiss; dasselbe nimmt in Gruppe III weiter zu. Von da ab bemerken wir, offenbar weil die Verschiedenheit der Arbeitsleistung (Kraftconsum) keine so sehr bedeutende ist, keine weitere Abnahme.
2. Einen zweiten Grund für den Wechsel im Eiweissconsum muss man in der socialen Lage der Versuchspersonen suchen. Die Wohlhabenden verzehren relativ mehr an Eiweissstoffen, weil dieselben viel von den theuern aber eiweissreichern animalischen Nahrungsstoffen aufzunehmen pflegen.

Grösser als bei dem Eiweiss sind die Schwankungen für die Betheiligung des Fettes an der Verbrennung. Das Minimum des Fettverbrauchs ist 10,7 %, das Maximum 46,3 %.

Für die Schwankungen des Fettes sind gleichfalls die Gründe leicht anzugeben.

Zunächst ist wiederum zu beachten, dass das Eett in der Kost der Wohlhabenden, Gruppe I, einen beträchtlichen Bruchtheil des täglichen Kraftbedarfes liefert.

Eine zweite Ursache für einen von der Mittelzahl weit abweichenden Fettconsum ist in der Arbeitsleistung zu suchen, welche ein Individuum zu leisten hat.

Bei dem Wohlhabenden macht das Fett ein Viertel bis ein Drittel der Gesammt-Spannkraftzufuhr aus; bei dem mittleren Arbeiter oft nur ein Neuntel. Die kräftigen Arbeiter der Kategorie V, welche sich zum Theil unter rauhen klimatischen Verhältnissen befinden, decken bis zur Hälfte ihren Spannkraftbedarf aus Fett. Es wäre einem kräftigen Arbeiter in der Regel wohl unmöglich, die Hauptmasse der Spannkraft in Form von Kohlehydraten zuzuführen, weil das Volum der Kost zu bedeutend würde. Man nimmt deshalb die Fette als compendiöse Kraftreservoire zu Hilfe; ihre Bedeutung dürfte leicht zu verstehen sein, wenn wir den calorischen Werth von je 100g frischer Substanz betrachten:

100	Theile	Fleisch [1])	liefern	96,3 Cal.
100	„	Brod [2])		280,2 „
100	„	Fett		942,3 „

Dass man übrigens mit einer fast völlig fettfreien Kost bestehen kann, beweisen die Japaner. Nach den Angaben von Scheube [3]) berechne ich, dass dieselben nur 2 — 7 % ihres Kraftbedarfs mit Fett decken.

Dass die Europäer auch mit einer fast fettfreien Kost auszukommen vermögen, beweisen die Trappisten.

Weitaus die meiste Wärme entlehnen wir der Zerlegung der Kohlehydrate. Da es sich in der vorliegenden Tabelle um procentische Berechnungen handelt, so sehen wir überall da, wo wir eben einen hohen Consum von Eiweiss oder Fett festzustellen in der Lage waren, reciprok einen geringeren Consum für Kohlehydrate. Die Kohlehydrate sind die Spannkraftquelle der Arbeiter; sie genügen aber nicht für ausserordentliche Arbeitsleistungen.

Am gleichmässigsten gestaltet sich der Consum des Eiweisses und abgesehen von jenen Fällen, extremster Arbeitsleistungen,

---

1) Bei 23,9% Trockensubstanz.

2) Nach Stohmann. Es ist aber ausser Acht gelassen, dass das Eiweiss im Organismus nicht völlig verbrennt.

3) Archiv für Hygiene Bd. 1 S. 352 ff.

erhalten wir einen fast stets gleichbleibenden Bruchtheil des gesammten Kraftconsums auf ersteres treffend. Um einen leichteren Ueberblick zu erlangen, genügt folgende Zusammenstellung:

Tabelle Nr. XV.

Charakteristik	Cal. aus Eiweiss in %	Cal. aus Fett in %	Cal. aus Kohlehydraten in %
Hungerzustand[1])	12,1	87,9	—
Arbeitskategorie I	19,2	29,8	51,0
Arbeitskategorie II	16,7	16,3	66,9
Arbeitskategorie III	18,8	17,9	63,3
Arbeitskategorie IV[2])	13,4	21,2	65,3
Arbeitskategorie V[3])	8,3	38,7	52,8

Nach den besten Untersuchungen soll also im Mittel die Kost des mittleren Arbeiters zu je 1/6 aus Eiweiss und Fett und zu 2/3 aus Kohlehydraten, gemessen nach dem Wärmewerthe, bestehen.

Das Greisenalter zeigt keine Verhältnisse, welche von dem eben besprochenen eines mässigen Arbeiters verschieden wären. Auch im Alter bilden die Hauptquelle der Kraft die zugeführten Kohlehydrate, auch das Fett ist in keiner auffallenden Quantität zugemessen und das Eiweiss fällt gleichfalls fast geradezu mit der Mittelzahl, welche für die Erwachsenen gebildet werden kann, zusammen. Die Zahlen enthält die folgende Tabelle.

1) Bei Fütterung mit Kohlehydraten kann die Betheiligung des Eiweisses nur 5% betragen.

2) Bergleute, Ziegelarbeiter, Bauernknechte.

3) Holzknechte.

Tabelle Nr. XVI.

Charakteristik	Cal. aus Eiweiss in %	Cal. aus Fett in %	Cal. aus Kohlehydraten in %
Pfründnerinnen	17,4	24,3	58,3
Pfründnerinnen und Pfründner	17,4	19,4	63,1

Für das Kindesalter sind die Zahlen aber in einigen Beziehungen von den bisherigen Angaben wesentlich unterschieden. Im Allgemeinen muss im Säuglingsalter die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Verbrennung sich ebenso verhalten, wie ihre Vertheilung in der Muttermilch ist. Für die von mir angeführten Fälle des Kraftconsums im Säuglingalter ergibt sich:

18,7 % der Cal. in Eiweiss, 52,9 % in Fett, 28,4 % in Milchzucker.

Was also die Säuglingskost charakterisirt ist keineswegs ein hoher Gehalt an Eiweiss, denn die Zahl 18,7 weicht nicht viel von dem Mittel für Erwachsene ab; das charakteristische ist der abnorm hohe Fettgehalt. Auf den hohen Fettgehalt der Säuglingskost ist schon von Playfair, Voit und Anderen aufmerksam gemacht worden.

Dass die Eiweisskörper nicht in einem relativen Uebergewichte sind, könnte überraschen. Man weiss ja aus anderen Untersuchungen, wie bei kleinen oder jungen Thieren die Drüsen über den Muskelapparat überwiegen. Man könnte dann auch vermuthen, dass der relative Eiweissverbrauch, welch letzterer ja von den Drüsen mit abhängig sein muss, bei kleinen jugendlichen Thieren eine gewisse Zunahme zeigen müsse. Derartige Einflüsse können aber nur hervortreten, wenn die Gewichtsverschiedenheiten recht bedeutende sind. Sie machen sich bei Hunden von dem Körpergewicht 6—31 kg vielleicht eben geltend! Da beim Menschen die Unterschiede noch bedeutender sind (4—70 kg), so hätte man vielleicht vermuthen können, dass die etwas hohe Betheiligung des Eiweisses an der Verbrennung in der Säuglingsperiode (18,7 %) zum Theil auf den erörterten Verhältnissen

basiren könne; man wird aber nicht übersehen dürfen, dass auch die zum Ansatz verwendete Eiweissmenge zu der etwas höheren Zahl der Säuglingsperiode Veranlassung gegeben haben kann. Derartige Fragen mit Sicherheit zu lösen, muss eigenen Versuchen überlassen bleiben.

Nur wenig Wärme liefert der Milchzucker.

Da es sich im Säuglingsalter um eine sehr bedeutende Aufnahme von Nahrungsstoffen handelt und also die Arbeitskraft des Darmkanals in hohem Grade in Anspruch genommen ist, so sieht man, dass sich der Säugling desselben Hilfsmittels, das die robustesten Arbeiter benützen, bedient, er führt einen grossen Theil der benöthigten Spannkraft in Form von Fett zu.

Da hier die Relation der einzelnen Nahrungsstoffe ohne Rücksicht auf den Ansatz berechnet wurde, so ist zu bemerken, dass, wenn man nur die zersetzten Stoffe in Betracht ziehen wollte, vor allem das Eiweiss in seiner Menge gekürzt werden müsste.

Aendert sich nun die Art der Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Verbrennung, wenn die Kinder allmählich heranwachsen und die Säuglingsperiode überschritten haben? Darüber gibt folgende Tabelle Aufschluss.

Tabelle Nr. XVII.

Körpergewicht der Kinder	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Cal. aus Kohlehydraten
11,8	17,4	31,5	51,1
16,4	17,7	30,9	51,4
23,7	16,5	26,0	57,4
30,9	16,1	34,0	49,9
40,4	15,4	36,1	48,4

Auch bei dem 2 1/2 Jahre alten Kinde tritt zunächst als etwas auffallendes nur der hohe Fettgehalt der Kost entgegen. Der Werth

für das Eiweiss ist etwas gesunken gegenüber der Säuglingsperiode. Was das Eiweiss anlangt, so macht sich eine fortschreitende Abnahme der Werthe mit zunehmendem Alter bemerkbar, doch möchte ich bei der geringen Anzahl von Beobachtungen und den geringen Differenzen keinen besonderen Werth darauf legen. Durchgehends aber bleibt der hohe Fettconsum, den wir im Säuglingsalter in verstärktem Maasse sahen, hier im Kindesalter noch erhalten. Die Kohlehydrate liefern erst die Hälfte der für den Organismus benöthigten Wärme.

Nehmen wir nun das, was sich aus den vorstehenden Untersuchungen über die Betheiligung der einzelnen Nahrungsstoffe an der Verbrennung für die verschiedenen Altersklassen sagen lässt, zusammen, so hat man:

Tabelle Nr. XVIII.

Charakteristik	Cal. aus Eiweiss in %	Cal. aus Fett in %	Cal. aus Kohlehydraten in %
Säuglingsalter	18,7	52,9	28,4
Kindesalter	16,6	31,7	51,6
Erwachsene[1])	16,7	16,3	66,9
Greise	17,4	21,8	60,7

Die menschliche Kost zeigt trotz der Mannigfaltigkeit der Bedingungen, unter welchen sie untersucht wurde, eine überraschende Aehnlichkeit der Zusammensetzung. Im Säuglingsalter bis zum Greisenalter entlehnen wir 16—19 % aller benöthigten Kraft aus den Eiweisskörpern. Diesem regelmässig wiederkehrenden Verhältniss liegt zweifellos eine tiefere Bedeutung zu Grunde. Es wäre denkbar, dass bei einem gewissen Gehalt der Kost an Eiweiss die Verdauung am günstigsten vor sich geht, wie Fr. Hofmann meint. Es wird dies gewiss zutreffend sein, aber es dient vielleicht nur ein Theil des Eiweisses diesem Zwecke; man weiss, dass ausserordentlich

1) Mittlerer Arbeiter.

grosse Mengen von Stärke aus dem Darme aufgenommen werden können, obschon dabei die Stickstoffausscheidung sogar kleiner ist, als bei Hunger. Die Menge des beim normal verköstigten Menschen zerstörten Eiweisses und jener Eiweissmenge, welche beim Hunger zerstört wird, ist nicht so sehr verschieden wie bei dem Hunde. Der Grund dafür, dass mehr Eiweiss zugeführt wird bei Fütterung als im Hungerzustand zerstört wird, ist vor allem darin zu suchen, dass bei der Resorption von Eiweiss aus dem Darm plötzlich eine grössere Menge von Eiweiss in den Körper hereinkommt, weit mehr als in der Zeit während welcher die Resorption währt, sonst im Hungerzustande zerstört wird; und nun wird nicht allein während dieser Zeit von dem zugeführten Eiweiss der Eiweissverlust vom Körper aufgehoben, sondern noch mehr Eiweiss verbrannt, welch letzteres allerdings nicht nutzlos verschwendet wird, sondern eine isodyname Menge Fettes erspart.

Im Genusse des Fettes sind Jugend und Erwachsene und Greise am verschiedensten; vom Säuglingsalter anfangend wird immer weniger und weniger von demselben verbrannt.

Die Kohlehydrate bilden für Erwachsene wie Greise den Hauptquell für die Kraft; nämlich $^2/_3$ der ganzen Summe; bei Säuglingen wird etwas über $^1/_4$ aller verfügbaren Kräfte ihnen entlehnt.

Die Zumessung der täglichen Kost wird demnach durch die hier gemachten Angaben höchst einfach sich gestalten; wenn bekannt ist, welche Leistungen an ein Individuum gestellt werden sollen, und wenn wir für diese Verhältnisse bereits an einem anderen Organismus die Grösse des Kraftwechsels festgestellt haben; es lässt sich für den andern Fall, sowohl die Gesammtmenge des Kraftwechsels angeben, als auch bestimmen, wie viel an einzelnen Nahrungsstoffen gereicht werden müsse.

Gesetzt, es solle für einen mittleren Arbeiter von 50^{kg} Gewicht bestimmt werden, wie viel an Nahrungsstoffen gereicht werden müsse, so hätte man mit Benützung einiger schon oben mitgetheilter Werthe folgendes:

1. Das Gesammtkraftmaass beträgt, wenn $W =$ die Wärmemenge welche gesucht wird, $O =$ die Oberfläche $\left(K \sqrt[3]{\text{Körpergewicht}}\right)$ und $n =$ die Summe der Cal., welche

auf 1 qm Oberfläche treffen: $W = O \cdot n$. Da es sich im Allgemeinen darum handelt, festzustellen, wie viel an Nahrungsstoffen zugeführt werden müsse, sind für n die Bruttowerthe zu Grunde zu legen. Für den gegebenen Fall hätte man:

$$W = \frac{12{,}3 \cdot \sqrt[3]{50000}}{10000} \cdot \frac{3093}{2{,}035} = W = \frac{12{,}3 \cdot \sqrt[3]{50000}}{10000} \cdot 1519.$$

2. Die Vertheilung der Kräftezufuhr auf die einzelnen Nahrungstoffe ergibt sich wie folgt:

WE = Wärme aus Eiweiss, WF = Wärme aus Fett,
WK = Wärme aus Kohlehydraten.

Die Vertheilung der Kraft erfolgt bei dem mittleren Arbeiter, indem 15,7 auf Eiweiss, 16,2 % auf Fett, 68,1 % auf Kohlehydrate treffen.

Für WE hat man:

$$\frac{W \cdot 15.7}{100}; \text{ für } WF = \frac{W \cdot 16{,}2}{100} \text{ und } WK = \frac{W \cdot 68{,}1}{100}$$

$$= W \cdot 0{,}157 \qquad = W \cdot 0{,}162 \qquad = W \cdot 0{,}681$$

und um die Gewichtsmengen zu erhalten hat man:

$$E = \frac{W \cdot 0{,}157}{4{,}1} \qquad F = \frac{W \cdot 0{,}162}{9{,}3} \qquad K = \frac{W \cdot 0{,}681}{4{,}1}$$

Für eine Gruppe von Individuen, welche die gleiche Relation der Nahrungsbestandtheile in der Kost zeigen, lassen sich also drei Constanten angeben, nämlich:

$$E = W\,0{,}038, \quad F = W\,0{,}017, \quad K = W\,0{,}166.$$

Ich werde andern Ortes näher auf diese Verhältnisse eingehen.

Beiträge zur Entwicklungsmechanik des Embryo.

Von

Wilhelm Roux.

Einleitung.

Die beschreibende Embryologie ist durch unermüdlichen Fleiss und Scharfsinn vieler Forscher seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts so weit gefördert worden, dass wir fast von jedem Organe der Wirbelthiere und vieler wirbellosen bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit diejenigen Formenänderungen kennen, unter denen sich dasselbe successive aus dem befruchteten Ei hervorbildet.

Nachdem somit schon ein annähernder Ueberblick über die formalen Veränderungen, welche während der Entwicklung vor sich gehen, gewonnen ist, ist es wohl berechtigt, noch einen Schritt weiter, nach der Kenntniss der Vorgänge, welche diese Formwandlungen hervorbringen, zu streben.

Dieses weitere Ziel lässt sich in zweifacher Weise auffassen: einmal wiederum formal, sofern bloss die formalen Vorgänge erkannt und beschreibend dargestellt werden sollen. Als das letzte Ziel dieses Strebens würde die vollkommene Kenntniss des Weges zu bezeichnen sein, welchen jedes kleinste, gesonderte Bahnen einschlagende Theilchen des befruchteten Eies bis zu seiner, des Theilchens letzten Verwendung zum Aufbaue des Organismus durchläuft, verbunden mit der Kenntniss des Weges aller von aussen aufgenommenen und bis zur Vollendung der Entwicklung des Individuums zum Aufbaue irgendwie verwendeter Theile. Und erst mit der Wiederaus-

scheidung der Theilchen aus dem Organismus würden wir dieselben vor Erreichung dieses Culminationspunktes der Entwicklung aus unserer Beobachtung entlassen. Dem Anfange derartiger Betrachtung hätte die Kenntniss der Lagerungsbeziehung aller Theile des seine Entwicklung beginnenden Eies zu einander vorauszugehen.

Dies wäre die descriptive Definition der vor uns liegenden weiteren Aufgabe der Embryologie; kurz gefasst also: die vollkommene Beschreibung aller, auch der kleinsten Entwicklungsvorgänge als Substanzbewegungen der Theile des Eies und der von ihm aufgenommenen Theile bis zur vollen Entwicklung des Individuums, gestützt auf die vollkommene Kenntniss der Anordnung und äusseren Beschaffenheit jedes kleinsten Theilchens des befruchteten Eies: eine Kinematik der Entwicklung, wenn wir, wie wohl zu empfehlen ist, uns an Ampère's Eintheilung der Bewegungslehre anschliessen.

Wenn wir diese Kenntnisse hätten, so würden wir im Stande sein, die ganze embryonale Entwicklung rein descriptiv darzustellen und sie somit als eine descriptive Wissenschaft zu behandeln. Wir werden aber dieses Ziel nicht nur nie erreichen, sondern auch nicht einmal uns ihm auf descriptiv beobachtende Weise erheblich viel weiter zu nähern vermögen, als es bereits geschehen ist. Dies aus dem Grunde, weil sowohl diejenigen Bewegungen der Theilchen, welche gruppenweise die einzelnen, äusserlich sichtbaren Formwandlungen hervorbringen, wie auch die Bewegungen, welche die sog. qualitativen Veränderungen hervorbringen, ihrer Hauptsache nach der directen Beobachtung entzogen sind.

Gleichwohl ist nicht von vornherein zu sagen, dass wir dauernd auf die Kenntnissnahme von ihnen verzichten müssten, denn es gibt noch einen anderen Weg sie kennen zu lernen, den des inductiven und deductiven Schliessens auf Grund der Causalität.

Es leuchtet ein, dass die Entwicklungsbewegungen der Theilchen des seine Entwicklung beginnenden Eies nach dem ersten Momente der Entwicklung, wenn überhaupt, so nur einen kleinsten Zeitraum und eine minimalste Strecke hindurch selbständige d. h. rein dem eigenen Beharrungsvermögen folgende sein werden, dass im nächsten Momente schon gegenseitige Beeinflussungen stattfinden

müssen, welche in den dadurch hervorgerufenen Veränderungen eben die Entwicklung darstellen.

Es leuchtet weiterhin ein, dass, wenn wir die gegenseitige Lagerungsbeziehung aller Theile des Eies im Momente des Entwicklungsbeginnes, nebst den Beschleunigungen, die jedem derselben dabei ertheilt worden sind, und die den Theilchen immanenten Kräfte selbst kennten, wenn somit alle inneren Ursachen der Entwicklung eines einzigen Momentes der Entwicklung und weiterhin noch alle von aussen hinzukommenden Componenten während des ganzen Verlaufes der Entwicklung uns bekannt wären, wir daraus die künftigen Entwicklungsbewegungen aller Theilchen abzuleiten und so die Lücke der directen Beobachtungen auszufüllen vermöchten. Eine derartige Entwicklungslehre würde den Namen Kinetik der Entwicklung verdienen.

Wir werden keine von beiden so unterschiedenen Wissenschaften vollendet sehen; aber wir werden immer beide mit einander zu pflegen haben, um auf beiden Wegen uns unserem Ziele zu nähern; der somit nöthigen Vereinigung beider Wissenschaften können wir den Namen Entwicklungsmechanik des Embryo beilegen. Es liegt in der Natur der Verhältnisse, dass von den beiden Theilen, welche dieser Terminus darnach umfasst, die Kinematik, die bloss descriptive Bewegungslehre, von der Kinetik, der ursächlichen Bewegungslehre mehr und mehr in die Rolle einer blossen Hilfswissenschaft gedrängt werden muss.

Insofern es, abgesehen von der Entwicklung des befruchteten Eies, noch viele andere Entwicklungsvorgänge gibt und es von Nutzen sein wird, diese zur Belehrung vergleichsweise mit in Betracht zu ziehen, so werden wir eine „allgemeine Entwicklungsmechanik“ zu unterscheiden haben von der speciellen des Embryo, welche den speciellen Gegenstand unserer Untersuchungen bilden soll.

Die Entwicklungsmechanik im allgemeineren Sinne ist, mit Bevorzugung ihres kinetischen Theiles, als die Wissenschaft von der Beschaffenheit und den Wirkungen derjenigen Combinationen von Energie zu bezeichnen, welche Entwicklung hervorbringen.

Unter Entwicklung selber verstehen wir, den Begriff in seiner gewöhnlichen Bedeutung gefasst, das Entstehen von wahrnehmbarer Mannigfaltigkeit. In der Wahrnehmbarkeit der entstehenden Mannigfaltigkeit enthält dieser Begriff ein menschlich subjectives Moment, welches uns bezüglich weiterer Einsicht nöthigt, ihn selber in zwei verschiedene Theile zu zerlegen: In die wirkliche Production von Mannigfaltigkeit und in die blosse Umbildung von nicht wahrnehmbarer Mannigfaltigkeit in wahrnehmbare, sinnenfällige.

Die so unterschiedenen beiden Arten von Entwicklung stehen in einem Verhältnisse zu einander, welches an die alten Gegensätze der Epigenesis und der Evolution erinnert, also an die Alternative einer Zeit, in der es die Aufgabe und alleinige Möglichkeit war, zunächst die geformten Producte der Bildungsvorgänge, die äusserlich sichtbaren Formwandlungen festzustellen. Bei dieser descriptiven Untersuchung der formalen Entwicklung trug die Epigenesis, die successive Bildung neuer Formen den vollkommenen Sieg über die Evolution, über die blosse Wahrnehmbarwerdung von vornherein vorhandener Formeneinzelheiten davon.

Bei einem tieferen Eindringen in die Bildungsvorgänge, dessen die causale Untersuchung benöthigt, werden wir indes von neuem vor diese Alternative gestellt und zugleich veranlasst, sie in einer tieferen Bedeutung zu erfassen. Wenn hierbei die bisherigen Bezeichnungen beibehalten werden wollen, so bedeutet alsdann Epigenesis nicht bloss die Bildung mannigfacher Formen durch die Kräfte eines formal einfachen, aber vielleicht in seinem Innern ausserordentlich complicirten Substrates, sondern die Neubildung von Mannigfaltigkeit im strengsten Sinne, die wirkliche Vermehrung der bestehenden Mannigfaltigkeit. Evolution dagegen ist hiernach das blosse Wahrnehmbarwerden präexistirender latenter Verschiedenheiten. Es ist klar, dass nach diesen allgemeineren Definitionen Vorgänge, welche der formalen Betrachtung als Epigenesis sich darstellen, in Wirklichkeit vorwiegend oder reine Evolutionen sein können; und wir erkennen demnach, dass wir bei dem beabsichtigten tiefern Eindringen in das Ent-

wicklungsgeschehen aufs neue vor die Frage gestellt werden: Ist die embryonale Entwicklung Epigenesis oder Evolution?

Diese beiden Arten der Entwicklung sehen wir in der anorganischen Natur meist mit einander verbunden vorkommen. Je tiefer wir aber in einen beobachteten Entwicklungsvorgang eindringen, um so mehr erkennen wir in der Regel, dass ein grosser Theil dessen, was uns beim ersten Ueberdenken der Beobachtung als neugebildete Mannigfaltigkeit erschien, einer Metamorphose von präexistirenden Verschiedenheiten seinen Reichthum an sinnenfälliger Mannigfaltigkeit verdankt.

So werden wir zunächst geneigt sein, die Berge und Thäler unserer Erde rein als im Laufe des Erdgeschehens neu gebildete Mannigfaltigkeiten aufzufassen; und doch belehrt ein tieferes Nachdenken, dass in der durch Abkühlung zuerst erstarrten Erdkruste bei weiterer Abkühlung und Verkleinerung des Erdinnern und der dadurch bedingten Stauung der harten Rinde in sich selbst Sprünge und Einstülpungen, als die ersten Anlagen von Berg- und Thalbildung, immer nur an den Stellen jeweilig vorhandenen geringsten Widerstandes entstehen konnten; ebenso wie in späterer Zeit ceterisparibus Erosionsthäler an den Stellen geringsten Widerstandes gegen die lösende und mechanische Kraft des Wassers sich bilden mussten. Es waren also als Vorbedingungen so reicher Berg- und Thalbildung schon zahlreiche Ungleichheiten in der Erdrinde vorhanden, welche ihrerseits weiterhin von Ungleichheiten in der Zusammensetzung der Erde zur Zeit der Erstarrung abhängig waren; und diese wiederum müssen von Verschiedenheiten in der Bewegung, Wärme oder Mischung der Theile schon zu Zeiten herstammen, in denen wir uns mit Kant und Laplace das Weltall noch als ein in Bewegung befindliches Gasgemisch vorstellen. Ebenso werden wir nicht annehmen dürfen, dass die hochgradige Mannigfaltigkeit feiner Reliefverschiedenheiten die auf der Bruchfläche irgend eines von uns erzeugten scheinbar homogenen Gebildes, sei es z. B. der gebrochenen Achse einer Locomotive oder eines zersprungenen Fernrohrobjectives sich darbietet, allein derjenigen Kraft, welche die Zusammehangstrennung bewirkt hat, ihre Entstehung verdankt; denn diese feinen Verschiedenheiten folgen nicht den Richtungen stärkster

Kraftvertheilung. Die Abweichungen von diesen letzteren finden vielmehr ihre Ursache in Ungleichheiten der Spannungen zwischen den einzelnen Theilen, welche ihrerseits wieder von ursprünglichen Verschiedenheiten des Materiales oder der Bewegung und Abkühlung seiner Theile herrühren.

Aus dieser Einsicht ist indes nicht zu folgern, dass in letzter Instanz alle Mannigfaltigkeit, welche wir wahrnehmen, bei genügend tiefem Eindringen unserer Erkenntniss sich als blosse Metamorphose schon vorhanden gewesener Verschiedenheiten erweisen würde. Im Gegentheil, es gibt Arten der wirklichen Neuerzeugung unzählbarer Verschiedenheiten aus wenigen einfachen Bedingungen.

Nehmen wir z. B. an, es gäbe ein Stück nach allen Richtungen hin vollkommen isotroper Substanz, und es wäre möglich gewesen, eine Billardkugel daraus zu drehen, ohne die elastische Isotropie zu stören, so würde doch der erste Stoss schon diese Gleichheit für immer vernichten, sofern das Material nicht zugleich auch absolut vollkommene Elasticität besässe. Könnten wir diese Kugel nach dem einen Stosse in eine Macerationsflüssigkeit legen, welche alle Theile ungleicher Dichtigkeit von einander löste ohne den Zusammenhang gleich dichter Theile zu alteriren, so würde dieselbe in eine unzählbar grosse Anzahl um den Anstosspunkt geordneter Schalen zerlegt werden und uns so augenfällig das unermessliche epigenetische Schaffensvermögen der Natur demonstriren.

Um letzteres in Wirklichkeit zu thun, brauchen wir nur die äquipotentialen Linien eines von zwei Punkten aus durch eine geeignete Metallplatte geleiteten elektrischen Stromes sich selber darstellen zu lassen, oder einem Magneten durch Ueber-ihn-Halten einer mit Eisenfeilspänen bestreuten Glasplatte unter leichter Erschütterung derselben Gelegenheit zu geben, Faradey's magnetische Kraftcurven zu bilden, oder noch einfacher einen Tropfen farbiger Flüssigkeit in ein Glas ruhenden Wassers fallen zu lassen.

Um weiter in die Probleme der Entwicklung eindringen zu können, müssen wir zunächst die Umwandlung verborgener Mannigfaltigkeit in wahrnehmbare durch Analyse objectiviren und sie so ihres subjectiven Charakters entkleiden.

In Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit unserer Sinne, in deren Wahrnehmungsbereich die Vorgänge fallen sollen, speciell in Anknüpfung an das Gesichtsorgan, mit welchem wir bis jetzt allein die Entwicklung der uns später beschäftigenden Gebilde zu beobachten vermögen, kann das Wahrnehmbarwerden beruhen: Erstens auf einem einfachen Grösserwerden, unter vollkommener Erhaltung aller Proportionen, also auf gleichmässigem Wachsthum nach allen Richtungen hin, wie es z. B. bei der Krystallbildung, wohl nie aber im organischen Geschehen rein vorkommt.

Zweitens kann die nicht wahrnehmbare Mannigfaltigkeit, ohne Aenderung ihrer später wahrgenommenen räumlichen Dimensionen, in ihrer Natur derart verändert werden, dass sich ihre bisher unsichtbar ungleichen Theile nunmehr auch gegen das Licht also gegen die Form von Energie ungleich verhalten, welche die Beziehungen zwischen der Aussenwelt und und unserem Auge vermittelt. Dies kann z. B. bei der unsichtbaren Schrift eines mit gelöstem Cobaltchlorür geschriebenen Briefes durch Erwärmen desselben geschehen, da dadurch das farblose Hydrat des Salzes sein Wasser verliert und dabei eine blaue Farbe annimmt; oder dasselbe findet statt, wenn der Photograph das noch unsichtbare Bild auf der exponirten Platte durch Uebergiessen derselben mit gelöstem schwefelsauren Eisenoxydul wahrnehmbar macht und so „entwickelt“. Dasselbe geschieht seitens des Mikroskopikers täglich, indem er optisch von ihrer Umgebung nicht differenzirten Gewebebestandtheilen nach J. Gerlach's Methode durch Einlegen des ganzen Gewebes in Farbstofflösungen Gelegenheit gibt, ihre eventuellen chemischen Verschiedenheiten in einer sichtbar werdenden Weise zu bethätigen. Oder indem wir die unsichtbaren ultrarothen oder ultraviolleten Strahlen des Spectrums durch die Phosphorescenz des Schwefelcalciums resp. durch die Fluorescenz des schwefelsauren Chinins in sichtbare Strahlen verwandeln. Um eines der oben schon erwähnten Beispiele heranzuziehen, so wurde der Einblick in die verborgene Mannigfaltigkeit des Inneren der Locomotivenachse dadurch gewonnen, dass deren Festigkeit durch äussere Krafteinwirkung über ihre Grösse in Anspruch genommen wurde, wodurch an den Stellen geringster Festigkeit eine Continitätstrennung stattfand, die uns in der Formenmannigfaltigkeit der

Bruchfläche einen Theil der vorhanden gewesenen Mannigfaltigkeit ungleicher innerer Kraftwirkungen offenbarte.

Drittens können diese beiden Arten: das Wahrnehmbarwerden durch einfache Vergrösserung und dasjenige durch Umänderung der Natur der Verschiedenheiten, mit einander vereinigt vorkommen. Dies z. B. wenn die Schwingungen einer Stimmgabel durch Reflexion eines Flammenbildes unter Benutzung eines rotirenden Spiegels an der Wand vergrössert sichtbar gemacht werden. Das vergrösserte Bild der Schwingungen wird dabei zugleich durch den rotirenden Spiegel in der Rotationsrichtung auseinandergezogen und so deformirt. Die Deformation kann dabei je nach der Einrichtung des Apparates unabhängig von der Gesammtvergrösserung des Schwingungsbildes stattfinden, oder beide können untrennbar mit einander verbunden sein. Letzteres ist vielleicht bei mehreren Evolutionsvorgängen der embryonalen Entwicklung der Fall, z. B. wenn ein Gemisch mit ungleicher Wachsthumsfähigkeit begabter Theile Gelegenheit erhält, diese Ungleichheit zu bethätigen; denn hierbei werden die Theile mit Nothwendigkeit ihre relative Lagerung zu einander ändern müssen und auch bei ursprünglich einfachster Gestalt des Ganzen eine Mannigfaltigkeit äusserer Formen produciren. Und es ist weiterhin anzunehmen, dass die im Wechsel der Bewegung und im Wechsel der Substanz fortwährend neu erzeugten Anordnungen der Atome und Moleküle der organisirten Gebilde, welche ich als Metastructuren bezeichnet habe, auch bloss unter gleichzeitiger Metamorphose dieser Anordnung ins Grosse sich umzubilden oder umgebildet zu werden vermögen.

Ausser der Metamorphose, welche die Wahrnehmbarwerdung hervorbringt, verdient noch die Metamorphose schon wahrnehmbarer Mannigfaltigkeit der Erwähnung. Derartige Verwandlungen würden nach der oben gegebenen Definition der Entwicklung von uns nur insoweit zu berücksichtigen sein, als sie zugleich auch mit Vermehrung der Mannigfaltigkeit verbunden sind. Doch wie schon hierin der Sprachgebrauch nicht sehr streng geschieden hat, so werden auch wir Veranlassung haben, diesen von Virchow als Metaplasie bezeichneten Vorgang soweit er in der embryonalen

Entwicklung vorkommt, mit in den Bereich unserer Untersuchungen zu ziehen.

Ebenso wie die Unterarten der Evolution, die einfache Vergrösserung und die Metamorphose, sind auch andererseits die Evolution selber und die Epigenesis oft untrennbar mit einander verbunden. So auch in den oben angegebenen Beispielen der Epigenese. Wir werden uns dies an einer eingeworfenen Fensterscheibe leicht vorstellen können; die radiären und die concentrischen Sprünge stellen in den Linien stärkster Kraftwirkung die neu producirte Mannigfaltigkeit dar und die Reliefverschiedenheiten auf den Sprungflächen selber bekunden uns wiederum die ungleichen inneren Zustände, welche vorher schon in der Scheibe präexistirten.

Es könnte daher erspriesslich sein, zunächst ganz allgemein drei Arten von Entwicklungsmechanik auszubilden: die Mechanik der Neubildung von Mannigfaltigkeit, die Mechanik der Metamorphose von bloss zu erschliessenden Verschiedenheiten in wahrnehmbare, und die Mechanik der Verknüpfung beider primären Typen. Wir werden später Gelegenheit nehmen müssen, uns einen etwas eingehenderen Einblick in diese Gebiete zu verschaffen, als es durch die vorstehende kurze Erörterung geschehen ist, da sich die Vorgänge, welche unsere Specialaufgabe bilden, aus dem Zusammenwirken aller drei zusammensetzen.

Wenn wir diese Specialaufgabe von vornherein unter den Gesichtspunkt des Spinoza-Kant'schen Begriffes „Mechanismus" gebracht haben, so geschah diese Praesumption in der Voraussicht, dass bei dem materiellen Ablaufe der Entwicklungsvorgänge des Embryo nichts Metaphysisches in Betracht zu kommen habe, dass diese Vorgänge durchaus ein dem Gesetze der Causalität unterstehendes Geschehen darstellen. Auf solche Voraussicht allein kann sich auch unser Unterfangen gründen, dieselben erforschen zu wollen. Ich habe diese Voraussicht nicht einfach aus unserer gegenwärtigen Weltauffassung entnommen, sondern ich habe es mir Jahre der Ueberlegung kosten lassen, den Möglichkeiten nachzuspüren, wie aus einem relativ oder scheinbar Einfachen ohne entsprechende gestaltende Einwirkung von aussen ein so complicirtes und typisch geformtes Gebilde hervorgehen kann, wie das Hühnchen aus dem

Eie. Diese Mühe war, vom Standpunkte der Wissenschaft aus betrachtet, überflüssig, da diese Fragen bereits von den Philosophen eingehends und am vollkommensten wohl von Hermann Lotze[1]) behandelt worden waren. Es ist hier ein Gebiet, wo der Naturforscher zunächst beim Philosophen in die Lehre zu gehen hat, wenn er seine Kraft nicht an die Erringung von schon Bekanntem verschwenden will; und ich kann nicht genug den Berufsgenossen gleichen Strebens anrathen, die bezüglichen Schriften eingehends zu studiren. Aber da es uns nicht, wie dem Philosophen, bloss um allgemeine Möglichkeiten, sondern um thatsächliche Wahrheiten zu thun ist, so werden wir uns andererseits auch sorgfältig vor der Ueberschätzung des empirischen Werthes dieser philosophischen Betrachtungen zu hüten und sie bloss als heuristische Principien für unsere mühsamen exacten Einzelforschungen zu benützen haben. Obgleich ich somit, objectiv betrachtet, Kraft vergeudet habe, indem ich mir all das, was von dieser Seite her bereits errungen war, aufs neue selbständig erarbeitete, so will ich diese Arbeit doch nicht für ganz verloren erachten. Es war mir einmal eine hohe Genugthuung zu sehen, dass ich oft bis ins Einzelnste hinein zu ganz denselben Resultaten, ja sogar zur Verwendung derselben Gleichnisse gekommen war als H. Lotze; andererseits aber hoffe ich, dass mein von vornherein auf die empirische Prüfung der gewonnenen Einsichten gerichtetes Streben mich die Wege hat einschlagen lassen, welche sich für diesen Zweck mehr eignen als die des Philosophen, welcher die Probleme, vom Standpunkte unseres Zweckes aus betrachtet, bald zu eng, bald auf lange Zeit hinaus zu weit gefasst hat. Und ich erkenne einen Nutzen schon darin, dass, während Lotze bezüglich der speciellen Erkenntniss der Entwicklungsvorgänge fast ganz resignirt, ich, wenn ich nicht irre, aus der grossen Anzahl auftauchender Probleme dasjenige einfachste derselben herausgehoben

1) H. Lotze, Allgemeine Physiologie des körperlichen Lebens 1851, Buch 2 Cap. III. Ein ausführliches Excerpt findet sich bei A. Rauber (Formbildung und Formstörung in der Entwicklung von Wirbelthieren 1880 S. 52—58), welcher seinen eigenen, meiner Auffassung nach leider meist verfehlten causalen Untersuchungen eine sorgfältige Zusammenstellung der ersten Keime gleicher Bestrebungen in der älteren Literatur vorausgeschickt hat, worauf hier verwiesen wird.

habe, welches, mit den empirischen Mitteln unserer Zeit für sich lösbar, mit seiner Lösung zugleich entweder den Zugang zur Lösung vieler weiterer Probleme eröffnet oder wenigstens dieselben gegen einander abzugrenzen gestattet und so vielleicht der gesonderten Behandlung zugänglicher macht.

Es bedarf wohl keiner besonderen Begründung, dass trotz des Lichtes, welches durch die Decendenzlehre auf die jeweiligen geformten Resultate der Entwicklungsvorgänge in jeder Phase derselben gefallen ist, diese Vorgänge selber einer speciellen causalen Untersuchung bedürfen. Niemand wird den Nutzen der eventuellen Früchte darauf gerichteter Untersuchungen in Zweifel ziehen. Gehen diese doch darauf aus, uns diejenigen Kräfte und Wirkungsweisen kennen zu lehren, denen wir die Entstehung und Erhaltung unserer eigenen Existenz verdanken und mit deren Erkenntniss auch unser ärztliches Handeln ein in viel höherem Maasse wissenschaftliches und daher erspriesslicheres werden wird.

Man wird nur bezweifeln können, ob gegenwärtig schon Resultate mit diesen Bemühungen zu erzielen sein werden; jetzt, wo bezüglich so fundamentaler Fragen, wie der formalen Bildung des mittleren Keimblattes noch die widerstreitendsten Ansichten vertreten werden; jetzt schon, da wir nicht nur nicht die Eigenschaften des Keimplasmas, sondern nicht einmal die wesentlichen Eigenschaften der organisirten Substanz überhaupt kennen.

Der letztere dieser Einwände wird dadurch vor der Hand beseitigt, dass es niederste organische Wesen gibt, die keine Entwicklung durchmachen, sondern, wenn sie eben durch Theilung selbständig geworden sind, schon die Grenze ihrer Ausbildung erreicht haben. Daraus erkennen wir, dass die Entwicklung nicht eine nothwendige Folge der Lebensprocesse an sich ist, dass sie also etwas zu diesem geheimnissvollen Grundstock Hinzugekommenes ist, welches daher vielleicht auch eine Strecke weit mit Erfolg verfolgt werden kann, ohne dass zuvor eine tiefere Einsicht in diese Grundlage selber gewonnen worden ist.

So bleiben uns zunächst die Eigenschaften unbekannt, denen das Keimplasma seine Entwicklungsfähigkeit verdankt, und die Vorgänge der Entwicklung selber. Diese aber, welche der descriptiven

Erforschung des normalen Bildungsgeschehens unzugänglich geblieben sind, sollen es gerade sein, welche durch unsere andersartige Inangriffnahme allmählich ihr Wesen zu enthüllen gezwungen werden.

Die Methode dieser Forschungen wird nicht eine technisch bestimmte, einheitliche sein können, wie z. B. die Methode der Färbung successiver Querschnitte oder der Reinculturen, welche gegenwärtig ganze Forschungsgebiete beherrschen; sondern es werden fast mit jeder neuen Aufgabe neue Methoden, zumeist experimentellen Charakters zu erfinden sein. Die einzige universelle Methode kann, wie ich schon anderwärts ausgeführt habe[1]), nur das causale analytische Denken abgeben. Dieses aber muss nothwendig einer solchen Arbeit vorausgehen, wenn sie nicht auf Abwege führen und nach der Ausbeutung eines vielleicht zufällig gemachten Fundes stehen bleiben, sondern stetig weiter führen soll. Nachdem ich mich dieser analytischen Arbeit unterzogen habe, liegt eine gewisse Versuchung darin, die theoretischen Ergebnisse derselben schon jetzt mitzutheilen; und ich würde ihr vielleicht nachgeben, wenn ich nicht wüsste, dass der Mehrzahl der Fachgenossen weniger an der Erkenntniss selber, als bloss an den mit ihrer Hilfe gewonnenen neuen concreten Kenntnissen gelegen ist. Daher werde ich mich begnügen, den Leser successive, mit den greifbaren Früchten zugleich, von den Ergebnissen der Analyse zu unterrichten.

Diese letztere zeigte viele causale Fragen auf, welche der experimentellen Methode schon jetzt zugänglich sind. Fast alle aber führten im Weiterverfolgen zu einer und derselben grossen Vorfrage, zu einer Alternative, von welcher aus die causale Auffassung fast aller Bildungsvorgänge in zwei wesentlich verschiedene Bahnen gelenkt wird. Dies ist die Frage: Ist die Entwicklung des ganzen befruchteten Eies resp. einzelner Theile desselben Selbstdifferenzirung oder das Product von Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung? Eventuell, welches ist der Antheil jeder dieser beiden Differenzirungsarten in jeder Entwicklungsphase des ganzen Eies und seiner einzelnen Theile?

---

1) Breslauer ärztliche Zeitschrift 1883 Nr. 15 S. 164.

In der Beantwortung dieser Frage liegt meiner Einsicht nach der Schlüssel zur causalen Erkenntniss der embryonalen Entwicklung.

Diese Fragestellung wird vielleicht zunächst befremden, da es Selbstdifferenzirung im Sinne der Aenderung des Bewegungszustandes eines einzelnen Körpers ohne äussere Einwirkung zufolge des Galileischen Beharrungsgesetzes nicht geben kann.

Wir verstehen daher das Wort Selbstdifferenzirung in einem besonderen, zweierlei Unterbedeutungen umfassenden Sinne. Einmal bedeutet es, dass die damit bezeichnete Veränderung einer Summe von materiellen Theilen in gegenseitiger Lage, in Bewegungszustand oder sonstiger Beschaffenheit entweder rein zufolge der dieser Summe eigenen Energie, also ohne Aufnahme äusserer Energie vor sich geht, oder zweitens, im Falle zu der Veränderung Aufnahme von Energie nöthig ist, dass die aufgenommene Energie nicht die specifische Natur der mit ihrer Hülfe vor sich gehenden Veränderung bestimmt. Somit bedeutet Selbstdifferenzirung eines Systemes von Theilen, dass entweder die Veränderung in ihrer Totalität, oder doch die specifische Natur der vor sich gehenden Veränderung vorwiegend durch die Energien des Systemes selber bestimmt wird.

Da jede Wirkung vom Einen auf ein Anderes immer eine Wechselwirkung ist, so wollen wir das Gegentheil der Selbstdifferenzirung, die Differenzirung durch äussere Einwirkung als correlative Differenzirung bezeichnen und unter ihr also verstehen die Veränderung einer der Betrachtung unterworfenen Summe materieller Theile durch Aufnahme oder Abgabe von Energie, sofern die specifische Natur der Veränderung durch diese zugeführte oder abgegebene Energie bestimmt wird, einerlei ob bei der Veränderung die eigene Energie des Systemes mitwirkt oder nicht.

Die aufgestellte Distinction ist, wie man sieht, keine dynamische, da sie sich nicht wesentlich auf die Aufnahme oder Abgabe von Energie gründet, sondern bloss darauf ausgeht, den Sitz derjenigen Alterationsursachen eines in seiner Veränderung betrachteten Systems

zu bezeichnen, welche die specifische Natur dieser Veränderung bestimmen.

Diese Einschränkung wird sich in den Abhandlungen, welche auf den in obiger Fragestellung bezeichneten nächsten Zweck gerichtet sind, als praktisch nützlich erweisen. Die auf sie gegründeten Bezeichnungen werden aber auch dann noch brauchbar bleiben, wenn wir, nach Gewinnung der Hauptübersicht von diesem Standpunkte aus, die Probleme in ihrer physikalischen Totalität zu erfassen und die Uebertragungen und Transformationen von Energie bei jedem einzelnen Entwicklungsvorgange genau festzustellen streben, sofern ihnen dann nur die nöthigen weiteren Unterscheidungsmerkmale beigefügt werden. Wir werden dann eine vollkommene und eine unvollkommene Selbstdifferenzirung unterscheiden, letztere wieder in zwei Unterarten getrennt, je nachdem bei der Selbstdifferenz Energie aufgenommen oder abgegeben werden muss; die correlative Differenzirung hat als Unterart noch die passive Differenzirung zu erhalten.

Bezüglich bestimmter Theile des Eies oder des Embryo können wir also fragen, ob ihre Entwicklung Selbstdifferenzirung oder correlative Differenzirung ist. Statt aber so die Gebiete von vornherein willkürlich räumlich zu umgrenzen und nach der inneren oder äusseren Lage ihrer Differenzirungsursachen zu forschen, können wir auch umgekehrt die Systeme ursächlich abgrenzen, derart, dass jedes System alle zu einem Differenzirungsvorgange beitragenden Ursachen umfasst; darnach fällt die obige Alternative aus und die Aufgabe wird: die Gewinnung der Topographie der zusammenwirkenden Differenzirungsursachen für jeden einzelnen Entwicklungsvorgang. Aus dem Vergleiche dieser Topographie der Ursachen mit der Topographie des von ihnen geschaffenen Differenzirungsproductes würde dann die obige Alternative von selber ihre Lösung finden.

Jeder Forscher, der sich eingehend mit Entwicklungsmechanik befassen wird, wird finden, dass er bei der causalen Beurtheilung jedes sichtbaren Entwicklungsgeschehens immer wieder zunächst auf diese Frage stösst; und keine specielle Untersuchung, welche wir auf diesem Gebiete vornehmen können, kann uns wirklichen

causalen Aufschluss geben, wenn sie nicht wenigstens bis zur Lösung dieser Frage in Bezug auf den untersuchten Vorgang fortgeführt worden ist. Wenn aber im Laufe der nächsten Jahre durch Lösung einer grösseren Anzahl derartiger Einzelfragen der Wirkungsumfang jeder dieser beiden Principien annähernd festgestellt ist, dann werden wir schon tief eingedrungen sein in den jetzt noch geschlossen vor uns liegenden Complex unbekannter, eng geketteter Probleme.

Die Frage, ob die Entwicklung des befruchteten Eies, im Ganzen betrachtet, Selbstdifferenzirung ist, oder ob zum normalen Ablaufe der Entwicklung directe differenzirende Einwirkungen von der Aussenwelt nöthig sind, ist durch den bereits publicirten Beitrag II[1]) bezüglich der formalen Entwicklung des Froscheies im Sinne der Selbstdifferenzirung entschieden. Denn es zeigte sich, dass keine der regelmässig vorhandenen Kraftformen, weder die Schwere, noch der Erdmagnetismus, noch Licht- und Wärmestrahlen, in constanten oder vielleicht in bestimmter Weise wechselnden Richtungen für den normalen Ablauf der Entwicklung nothwendig sind[2]); Kräfte aber, welche in beliebig wechselnden oder vom Zufall abhängigen Richtungen auf ein Gebilde wirken, können nicht im Stande sein, eine bestimmte typische Gestaltung an ihm hervorzubringen. Ist so

---

1) Breslauer ärztliche Zeitschrift 1884 Nr. 6.

2) Dieses Resultat wurde durch langsame Umdrehung der Eier in einer verticalen Ebene während der ersten Tage der Entwicklung gewonnen. E. Pflüger hat es in seiner jüngsten Publication (Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 34) für angemessen gehalten, diese Widerlegung seiner Auffassung von der nothwendigen gestaltenden Wirkung der Schwerkraft für die normale Entwicklung unerwähnt zu lassen und sich dagegen zur Stütze dieser Auffassung auf A. Rauber zu berufen, welcher gleichfalls Eier hat rotiren lassen. Rauber hat aber erstens die Eier in einer wagrechten Ebene rotiren lassen, so dass die Schwerkraft gar nicht in jedem Momente in anderer Richtung auf das Ei wirkte; zweitens hat er die Scheibe sich stets so schnell drehen lassen, dass die Centrifugalkraft auf die Eier einstellend wirkte und also selbst, wenn er, wie er irrthümlicherweise angibt, die richtende Wirkung der Schwerkraft auf diese Weise ganz hätte aufheben können, doch eine andere Kraft constant richtend auf das Ei wirkte. Somit lassen Rauber's Versuche gar keinen Schluss über die Entwicklung bei Aufhebung jeder richtenden äusseren Einwirkung zu; während die meinigen direct beweisen, dass bei Aufhebung jeder richtenden äusseren Einwirkung die Entwicklung normal vor sich gehen kann.

erkannt, dass die formale Entwicklung des Eies im Ganzen als Selbstdifferenzirung zu bezeichnen ist, so folgt aber noch nicht daraus, dass Licht und Wärme nicht vielleicht als Vorbedingungen der Entwicklung überhaupt unerlässlich nöthig sein könnten, oder dass nicht die Schwerkraft einen formalen Einfluss auf die Entwicklung auszuüben vermöchte. Vielmehr sprechen bekanntlich die Thatsachen dafür, dass die Wärme diejenige Energie ist, deren Zufuhr den Eiern mancher Thiere wie den Samen der Pflanzen erst die Gelegenheit gibt, ihre innern Ungleichheiten in Wachsthum und qualitativer Veränderung zu bethätigen, ähnlich wie leise Erschütterungen der mit Feilspänen bestreuten Glasplatte erst dem darunter gehaltenen Magnete Gelegenheit verschafften, die Eisentheilchen längs der Kraftlinien zu ordnen. Und ebenso lassen Froscheier, welche entgegen der umkehrenden Tendenz der Schwerkraft durch Zwangslage mit dem weissen Pole nach oben erhalten werden, häufig Missbildungen hervorgehen.

Die Erkenntniss, dass die formale Entwicklung des Froscheies im Ganzen als Selbstdifferenzirung aufzufassen ist, gibt unserer zunächst vorzugsweise auf das Morphologische der Entwicklung gerichteten Untersuchung eine sehr angenehme Umgrenzung dadurch, dass wir die gestaltenden Kräfte bloss im befruchteten Ei selber zu suchen haben. Nach Gewinnung dieser Einsicht ist nun weiterhin die Frage zu behandeln, ob, eventuell wie weit einzelne Theile des Eies, der Blastula, Gastrula etc. sich gleichfalls aus sich selber zu differenziren vermögen, oder ob ihre Entwicklung nur unter differenzirenden Correlationen aller oder vieler Theile vor sich gehen kann. In der Behandlung dieser Aufgabe werden sich meine nächsten bezüglichen Untersuchungen mit Ansichten und Bestrebungen von Pander[1]), His[2]), Kölliker[3]), Panum[4]) u. A.

---

1) Chr. H. Pander, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Hühnchens im Ei. Würzburg 1817 S. 40 und Isis 1818 S. 524.

2) W. His, Unsere Körperformen und das physiologische Problem ihrer Entstehung 1874.

3) A. Kölliker, Entwicklungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere 1879 2. Aufl., S. 349 u. f.

4) P. L. Panum, Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung der angeborenen Missbildungen. Virch. Arch. 1878 Bd. 72.

begegnen; und die experimentelle Methode wird Fragen zu einer Entscheidung bringen, welche mit der descriptiven Methode vergeblich gesucht worden ist.

Der Ausfall der Antwort über unsere Alternative wird für die Auffassung mehrerer fundamentaler Fragen von bestimmender Bedeutung sein.

Es erhellt zunächst, dass, wenn viele Theile des Eies sich rein aus den eigenen in ihnen liegenden Kräften differenziren, und auf diese Weise die spätere grosse Mannigfaltigkeit entsteht, dass alsdann das Ei schon von vornherein aus entsprechend vielen verschiedenen Theilen zusammengesetzt sein muss, dass die Entwicklung also wesentlich Metamorphose von Mannigfaltigkeit, Evolution in unserem Sinne ist trotz der formalen Epigenesis C. F. Wolff's; ferner dass bei der Furchung, welche das Material nicht bloss zerkleinert, sondern wesentlich zugleich auch in gewissem Maasse fest localisirt, diese differenten Materialien zugleich in einer der späteren Entwicklung entsprechenden Weise geordnet werden müssen, was nur durch bestimmte qualitative Sonderung bei der Zelltheilung in der nach einem typischen Schema verlaufenden Furchung möglich erscheint. Damit werden die causalen Bedingungen der Entwicklung vorzugsweise in das Moleculargeschehen verlegt und entziehen sich vorderhand grossentheils unserer weiteren Erforschung. Das ganze gefurchte Ei ist alsdann vielleicht bloss die Summe dieser selbständigen Theile, und es findet während der Periode dieser selbständigen Differenzirung der Theile kein einheitliches Zusammenwirken zu einem Ganzen statt; daher kann dann auch das Ganze keinen regulirenden, gestaltenden Einfluss auf die Theile ausüben. W. His' Princip der „organbildenden Keimbezirke“ erhält dann neben seiner descriptiven zugleich auch eine einfache causale Bedeutung und lässt sich in dieser Bedeutung zurück bis auf das eben befruchtete, vielleicht zum Theil auch noch auf das unbefruchtete Ei ausdehnen. Die Doppelbildungen müssen zur Zeit der ersten Furchen schon angelegt werden.

Wenn dagegen die Entwicklung wesentlich durch Wechselwirkung aller oder vieler Theile vor sich geht, so braucht umgekehrt das befruchtete Ei nur aus wenigen verschiedenen Theilen

zu bestehen, welche durch wechselndes Zusammenwirken nach und nach grosse Complicationen schaffen. Die Entwicklung ist dann wesentlich Production von Mannigfaltigkeit, Epigenesis in unserem Sinne. Es findet ein wechselseitiges Zusammenwirken der Theile zu einem Ganzen statt, wobei ein regulirender Einfluss von dem Ganzen auf die Theile rückwärts ausgeübt werden kann; und uns ist in der Feststellung dieser Correlationen ein reiches Feld mit den Mitteln der Zeit in angriffnehmbarer Forschung gegeben. His' Princip der organbildenden Keimbezirke hat dagegen dann nur insofern eine causale Bedeutung, als es die Orte der Resultantenbildung mannigfacher Wechselwirkungen bezeichnet und es ist von nur untergeordnetem Werthe, diese Orte schon vor der Zeit des Eintrittes dieser Wirkungen auf das noch indifferente Keimmaterial des ungetheilten oder unbefruchteten Eies zu projiciren. Die Doppelbildungen können alsdann vielleicht noch zu einer Zeit angelegt werden, in welcher durch Correlation die Differenzirung der Achsenorgane stattfindet.

Desgleichen wird unsere Auffassung von dem speciellen Wesen der Befruchtung und von der Art der Antheilnahme des Samens und des Eies an der Bildung des Embryo, sowie rückwärts folgernd auch die Auffassung des speciellen Mechanismus der Vererbung von dem Ausfall der Antwort auf diese Frage bestimmt werden; und wir können über diese Probleme wohl überhaupt nur von diesem Punkte aus allmählich eine gewisse Sicherheit erlangen.

Schliesslich aber können Selbstdifferenzirung und correlative Differenzirung der Theile und damit Evolution und Epigenesis sich wie im anorganischen Geschehen in mannigfachem Zusammenwirken combiniren; und es wird dann unsere Aufgabe sein, bei der Deutung unserer Beobachtungen doppelte Vorsicht und doppelten Scharfsinn aufzuwenden, um die Antheile jedes beider Principien richtig von einander zu sondern.

Möge mir in dem Streben nach dieser und weiterer Erkenntniss ein langes fruchtbringendes Wirken vergönnt sein.

Beitrag I.

Zur Orientirung über einige Probleme der embryonalen Entwicklung[1]).

(Aus dem anatomischen Institute zu Breslau.)

Die im Folgenden mitgetheilten Versuche wurden zum Theil schon vor mehreren Jahren ausgeführt, ehe noch die causale Analyse der Entwicklungsvorgänge bis zu dem in der Einleitung angedeuteten Stadium fortgeschritten war. Sie sind daher zum Theil nicht direct auf jenes Ziel gerichtet, welches ich als das zunächst zu erstrebende bezeichnet habe, und auch die diesem Ziele zustrebenden sind noch nicht bis zu ihm selber fortgeführt. Diese Versuche sowie diejenigen der nächsten Beiträge und die ihnen eingefügten theoretischen Erörterungen sollen vielmehr nur zur ersten Orientirung sowohl über die Natur der vorliegenden Probleme wie über die Art und Weise, wie diese der Untersuchung zugänglich zu machen sind, dienen. In den späteren Beiträgen werden dann mit den so gewonnenen neuen Mitteln die ins Auge gefassten, wohl umgrenzten Probleme der eingehenden Einzelbearbeitung unterzogen werden.

1.

Schon Chr. H. Pander[2]) und H. Lotze[3]) vermutheten in ungleichem Wachsthum der verschiedenen Theile der Keimblätter den ursächlichen Vorgang für die Entstehung der Formen des Embryo, W. His[4]) hat es sich angelegen sein lassen, die thatsächliche Richtigkeit dieser Vermuthung nachzuweisen, indem er durch genaue Messungen zahlreiche Ungleichheiten in den Massen- oder Flächenvergrösserungen verschiedener Theile feststellte und daraus die vorkommenden Formänderungen abzuleiten versuchte.

---

1) Die Hauptthatsachen dieser Untersuchung wurden unter dem Titel „Vorläufige Mittheilung über causal-ontogenetische Experimente“ am 15. Februar 1884 in der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur vorgetragen.

2) Dr. Pander, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Hühnchens im Eie 1817 S. 40.

3) Rud. Herm. Lotze, Allgemeine Physiologie des körperlichen Lebens 1851 S. 353.

4) W. His, Unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung 1874, desgleichen in zahlreichen Specialarbeiten.

Den Ursachen dieser ungleichen Localisation des Wachsthums ist man noch nicht nachgegangen. Dem Nachdenken über dieselben bieten sich viele Denkmöglichkeiten dar, unter welchen nur auf dem Wege des Versuches die realen Ursachen ausgelesen werden können. Anfänglich schien es mir nicht unmöglich, dass *elektrische Energie* durch ihre Art, sich auf gekrümmten Oberflächen ungleich zu vertheilen, einen helfenden Antheil an dem ungleichen Wachsthum der Keimblätter haben könne. Sofern ihr selber nämlich eine Wachsthum anregende Wirkung zukommt, konnte auf Grund einer schon vorhandenen geringen Formenmannigfaltigkeit durch die ungleiche Localisation der Elektricität und das entsprechend ungleiche Wachsthum eine immer grössere Mannigfaltigkeit producirt werden.

Um auf die einfachste Weise einen derartigen Antheil elektrischer Energie an der normalen äusseren Gestaltung festzustellen, spiesste ich soeben aus der Gallerthülle ausgeschlüpfte Froschembryonen mit je einer langen Insectennadel, welche durch Kopf, Hals, Rücken oder den Schwanz gesteckt war, auf den Wachsboden des Gefässes fest. Die Einführung eines Leiters von so grosser Oberfläche musste die vermuthete elektrische Vertheilung auf alle Fälle erheblich stören, selbst wenn die Oberfläche des Embryo schlecht leitete und die Störung durch fortwährende Neuproduction von Elektricität zum Theil compensirt wurde; und bei der Richtigkeit der obigen Annahme hätten dann ganz deforme Bildungen die Folge dieses Eingriffes sein müssen.

Zugleich war beabsichtigt, durch die Zerstörung der Gehirnblasen, des Hals- und Lendenmarkes, welche mit der Einführung der Nadeln an diesen Stellen verbunden war, einen eventuellen Einfluss dieser Theile auf die weitere Entwicklung, insbesondere auf die noch erübrigende Anlage und Ausbildung der Extremitäten festzustellen.

Ein Theil der so mit dicken Metallpfählen von $^1/_3$ des Rumpfdurchmessers durchstochenen Froschlarven starb unter grauer Verfärbung und Maceration von der Wunde aus allmählich ab. Dabei aber zeigte sich, dass der Schwanz und Rumpf noch reflectorisch erregbar blieben, ja manchmal erhöhte Erregbarkeit darboten, und dies auch, wenn schon der ganze Kopf und ein Theil

des Halsmarkes durch Maceration abgefallen war, indem die noch vorhandenen Theile bei leichtem Berühren oder Anstechen noch kräftige Biegungen ausführten.

Andere Embryonen dagegen entwickelten sich normal weiter in ihren Körperformen; die Kiemen wurden angelegt und wohl ausgebildet, selbst wenn unmittelbar neben der betreffenden Stelle die Nadel sich befand und dorsalwärts die Nachbarschaft der Kiemenwurzel zerstört hatte. Schliesslich gelang es gewöhnlich den Embryonen, sich durch heftige Bewegungen unter Zerreissung der Körpersubstanz auf einer Seite der Nadel von letzterer zu befreien; wonach dann aber in der Regel Maceration von der Wunde aus eintrat, welche successive zum Tode führte. Von den wenigen Ueberlebenden, bei denen die Wunde theils wohl durch Regeneration, theils unter Vernarbung allmählich sich schloss, habe ich noch keines bis zur Ausbildung der Extremitäten forterhalten, da dazu Monate lange sorgfältige Pflege in einem entsprechend eingerichteten Aquarium nöthig ist.

Zeigten diese Versuche, dass eine Vertheilung freier Elektricität auf der Oberfläche des Embryo keinen Antheil an der normalen Gestaltung desselben haben könne, so ist daraus aber noch nicht zu folgern, dass elektrische Wirkungen überhaupt keinen Antheil an der normalen Entwicklung nähmen, dass nicht vielleicht von Zelle zu Zelle oder innerhalb der Zellen solche Wirkungen stattfänden.

Bei diesen Versuchen wurden noch zwei Nebenbeobachtungen gemacht, welche durch allgemeineres Vorkommen bei späteren Versuchen eine gewisse praktische Bedeutung erhielten. Einmal färbte sich die Umgebung einer Verletzungsstelle bei den Embryonen von Rana esculenta gewöhnlich rasch, d. h. in ein bis zwei Stunden dunkelbraun; die Besichtigung mit dem Mikroskope liess eine Anhäufung von Pigmentzellen erkennen, welche eine dichtgeschlossene mehrfache Phalanx bildeten, also sich ähnlich gegen die Verletzungsstelle verhielten, wie die weissen Blutkörperchen zu einem reizenden Körper im Organismus. Wenn die Wunde geheilt war, verschwand gewöhnlich auch bald wieder dieser Pigmentring; nur selten blieb er noch einige Tage bestehen. Diese Erscheinung wurde an den

getödteten und gehärteten Embryonen von Werth, indem sie intra vitam entstandene Verletzungen von post mortem beigebrachten, an dem spröden Materiale leicht entstehenden Defecten zu unterscheiden gestattete. Ich habe von diesem Zeichen einen häufigen Gebrauch gemacht, ohne aber, von anderen Interessen geleitet, schon den Vorgang dieser Pigmentirung selber genauer festzustellen. Ich vermag daher zur Zeit noch nicht anzugeben, ob die Anhäufung durch Vermehrung der Pigmentzellen in loco, unter Theilung der vorhandenen oder unter Pigmentbildung in bisher farblosen Epithelien stattfand, oder aber, wie mir am wahrscheinlichsten schien, durch Wanderung der Pigmentzellen der Umgebung nach der Verletzungsstelle hin erfolgt. Dem entsprechend würde dann wohl auch das Verschwinden des angehäuften Pigmentes auf verschiedene Weise sich vollziehen. Wenn wirklich eine Pigmentzellenwanderung vorliegt, so wird dies für die Auffassung der Umschliessung der Blastula mit Pigmentzellen bei der Gastrulabildung und für manche andere Vorgänge von hoher Bedeutung sein können.

Ausserdem trat bei dem Absterben der Embryonen eine besondere Erscheinung auf. Bei den Embryonen, welche von einer Wunde aus macerirten, zeigte die Oberflächenschicht in der Umgebung der Wunde eine grobkörnige Beschaffenheit, welche mit der fortschreitenden Necrose sich als ein schmaler Saum neben der Wunde am Körper verbreitete. Die Besichtigung mit dem Mikroskop liess erkennen, dass an diesen Stellen die Epithelzellen Kugelgestalt angenommen hatten. Manchmal trat diese Erscheinung auch ausserhalb der Umgebung der Wunde am ganzen Embryo auf. Bei meinen späteren Versuchen beobachtete ich dieses Verhalten auch unter anderen Umständen, und zwar schon in früheren Phasen der Entwicklung, von der Gastrula an. Da sich weiterhin zeigte, dass ein Embryo, welcher diese Oberflächenbeschaffenheit darbot, sich nicht mehr weiter entwickelte, wenn schon er bei Schutz vor schädlichen Einwirkungen noch mehrere Tage lang sich zu erhalten vermochte, so diente mir das Auftreten dieser Erscheinung bald als werthvolles erstes Zeichen des Aufhörens der Entwicklungsfähigkeit und des kommenden Todes bei Embryonen in den früheren Stadien, in denen die noch fehlende Reflexerregbarkeit keine directe

Prüfung der Lebendigkeit gestattet. In Folge des praktischen Nutzens dieses ersten Symptomes kommenden Todes jüngster Embryonen will ich die Erscheinung mit einem besonderen Namen belegen und sie weiterhin als Framboisia embryonalis finalis mit dem Beinamen minor bezeichnen; letzteres weil wir noch ein zweites ähnliches Vorkommniss davon zu unterscheiden haben werden, welches Anspruch auf das Epitheton major hat. Die pathologische Bedeutung dieser Framboisia minor glaube ich darin sehen zu müssen, dass die Epithelien ihre specifische functionelle Natur, sich unter gegenseitiger Abplattung zu einer continuirlichen Schicht zusammenzuschliessen, verloren haben, und daher entweder aus einem Reste noch vorhandener Lebenskraft sich activ zu Kugeln zusammenziehen wie vordem im Stadium der Furchung und Blastula vor Uebernahme ihrer epithelialen Function, oder vielleicht auch nur von ihrer vielleicht elastischen Zellenmembran zu Gebilden kleinster Oberfläche zusammengepresst werden. Die symptomatische Bedeutung dieses Zustandes würde darauf beruhen, dass stets auch der übrige Organismus seine specifische Lebensfähigkeit verliert, wenn erst die ihn überkleidenden Epithelien soweit verändert sind, dass sie ihre Function nicht mehr vollziehen, oder umgekehrt, dass die Epithelien erst dann ihre specifische Function verlieren, wenn schon die von ihnen umschlossenen Theile ihre Entwicklungs- und dauernde Selbsterhaltungsfähigkeit eingebüsst haben. Da die Framboisia minor oft längere Zeit auf einer, auch unverletzten, Stelle localisirt blieb, ehe sie weiter schritt, so beweist dies, dass solcher Tod auch längere Zeit local bleiben kann. Die um heilende Verwundungen sich anhäufenden Pigmentzellen bilden manchmal, wie es scheint, mehrere Lagen Zellen auf einander, die oberflächlichsten Pigmentzellen nehmen dann gleichfalls Kugelgestalt an und es entsteht so ein der Framboisa minor ähnliches Aussehen, welches aber umgekehrt ein Zeichen des Lebens statt des Todes ist.

Gleichzeitig mit dieser Framboisia minor oder auch schon vor dem Auftreten derselben ist oft eine noch gröbere Unebenheit der Oberfläche von Embryonen wahrnehmbar; es finden sich auf einem Körpertheile zahlreiche mit blossem Auge sichtbare Excrescenzen, welche entweder noch mit glatten oder schon kugelig gewordenen

Epithelzellen bedeckt sind und also wohl auf Wucherungen einer unter dem Epithel gelegenem Schichte beruhen. Diese Framboisia embryonalis major würde damit schon mehr der als Framboisia bekannten Hautkrankheit des Menschen gleichen. Sie kann viele Tage auf einem grossen Theile des Embryo bestehen, und denselben z. B. den Schwanz erheblich deformiren, ehe der Tod des Thieres eintritt. Ich glaube sie als ein Zeichen davon auffassen zu sollen, dass die Gesammtentwicklung der betreffenden Gegend gestört ist und einzelne Theile derselben nun vor ihrem Absterben noch eine Zeit lang wucherungsfähig sind und daher atypisch wachsen, wie die von W. Zahn aus ihrer normalen Umgebung losgelösten und in erwachsene Thiere implantirten embryonalen Organtheile. Manchmal, besonders an dem Epithelsaum des Schwanzes der Froschembryonen, bilden auch in deutlich erkennbarer Weise bloss Epithelzellen solche grösseren Excrescenzen. Das wesentlich von der Framboisia minor Unterscheidende ist, dass bei der Framboisia major immer mehrere Zellen sich zur Bildung eines Vorsprungs vereinigen, während bei der Framboisia minor nur die einzelnen Zellen durch ihre eigene Rundung prominiren.

2.

Defectversuche am Ei.

Durch die erwähnten Versuche wurde ich über die grosse Widerstandsfähigkeit der Froschembryonen gegen mechanische Eingriffe belehrt und erkannte, dass dieselbe erheblich grösser ist, als diejenige von Hühnerembryonen, an welchen ich schon in früherer Zeit als Student experimentirt hatte.

[Ohne noch von den früheren Versuchen Valentin's, Leuckart's und Schrohe's Kenntniss zu haben, hatte ich an Hühnerembryonen zum Theil in ähnlichem Sinne Versuche angestellt, aber genau genommen dabei weiter nichts erkannt, als dass die Entwicklung durch Eröffnung des Eies und Verletzung des Keimes nicht nothwendig aufgehoben wird, dass hochgradige Entwicklungsstörungen die Folge sein können, und dass es sehr schwer ist, äussere Schädlichkeiten von einem eröffneten Eie fern zu halten. Im Uebrigen waren die Resultate zu inconstant, und ich will bloss einen dieser

Versuche mittheilen, welcher nach einer anderen als der erwarteten Seite hin etwas Interessantes erkennen liess.

Ich verfolgte bei ihm den utopischen Zweck, durch Injection von Farbstoffen in die Keimhöhle, das untere Keimblatt und damit auch alle seine Derivate zu kennzeichnen. Der Eingriff wurde mit einer fein ausgezogenen Glaskanüle ausgeführt und war an sich nicht absolut tödlich; durch Niederschlag aus sehr verdünnten Carminlösungen erzeugte feine Carminkörnchen, sowie auch Anilinblau wurden festgehalten; der Zweck wurde natürlich nicht erreicht. Von Interesse war aber das Verhalten des Keimes gegen Körnchen von sog. unlöslichen Berlinerblau. Dieser Farbstoff war nämlich nach weiterer Bebrütung des Eies nicht mehr aufzufinden; dagegen zeigte die Umgebung der Einstichstelle, welche bei der Injection der erst erwähnten Farbstoffe immer am intensivsten gefärbt war, sowie einige andere Stellen des Keimes eine intensiv gelbe Färbung, so dass wohl anzunehmen ist, dass das eisenhaltige Material hier zu einem gelben Farbstoff umgearbeitet worden ist.]

Die erkannte grössere Widerstandsfähigkeit junger Froschembryonen ermuthigte mich, auch an den Eiern dieser Thiere mechanische Eingriffe vorzunehmen. Zunächst hatte ich die Frage vor Augen, ob das Keimplasma zur Zeit der ersten Furchungen schon entsprechend den späteren Einzelbildungen different beschaffen und bestimmt localisirt sei. Durch Substanzverluste, welche dem Eie in diesen Entwicklungsphasen beigebracht wurden, musste, sofern der Eingriff überhaupt ertragen wurde, eine gewisse Aufklärung über diesen Punkt zu gewinnen sein. Daher versenkte ich, zum ersten Male im Frühjahr 1882, nicht ohne ein geheimes Bangen, die Spitze der Präparirnadel in das seine Furchung beginnende Ei und betrat damit einen neuen Weg der Forschung, welcher uns über manche wichtige Frage Aufklärung verheisst, die auf anderen Wegen vergeblich gesucht worden ist. Ich war mir der Rohheit dieses Eingriffes in die geheimnissvolle Werkstätte aller Kräfte des Lebens wohl bewusst, und verglich ihn selber mit dem Einwurfe einer Bombe in eine neu gegründete Fabrik, etwa in eine Kunstspinnerei, welcher in der Absicht vorgenommen sei, um an der Aenderung der Production und an dem Verlaufe der weiteren

Entwicklung der Fabrik nach der angerichteten Zerstörung einen Rückschluss auf ihre innere Organisation zu machen. Immerhin schien mir diese Methode noch einen Vorzug vor manchen der bisher geübten Methoden zu besitzen, so vor der Versetzung des Eies, dieses Analogons einer wachsenden Fabrik, in höhere oder geringere Wärme oder in einseitig wirkende Wärmestrahlung oder in bestimmte chemische Substanzen. Denn wenn durch diese Alteration der äusseren Umstände auch eine Alteration in der Ausbildung der Fabrik eintrat, so liess sie doch nur die allerallgemeinsten Schlüsse zu, während hier durch die Möglichkeit, die directe Zerstörung bestimmt zu localisiren, unter Umständen etwas speciellere Aufschlüsse gewonnen werden könnten.

Der Erfolg des ersten Versuches ermuthigte zur Wiederholung; so wurden weiterhin Eier von Rana fusca und später auch von Rana esculenta sowohl vor der Furchung wie nach dem Beginne derselben in allen Phasen bis zur siebenten Theilung angestochen und dabei an verschiedenen Eiern derselben Phase mit dem Orte der Verletzung zwischen verschiedenen Stellen der schwarzen und weissen Hemisphäre und der Uebergangszone beider gewechselt.

Die unmittelbare sichtbare Folge des Anstechens war beim Herausziehen der Nadel ein Austritt schwarzer oder vermengt weissschwarzer Eisubstanz, und die Menge dieses Extraovates nahm oft in den nächsten Stunden nach der Verletzung noch erheblich zu. Das „Extraovat“ bildete, soweit es innerhalb der Gallerthülle gelegen war, einen Knollen, der sich in vielen Fällen nachträglich an seiner ganzen Oberfläche schwarz (Rana fusca) resp. braun (Rana esculenta) färbte, und sich viele Tage lang unverfärbt in der Nuance der Lebensfarbe erhielt. In vielen Fällen blieb die Hauptmasse des Extraovates durch einen Strang mit dem Eie in Verbindung und markirte so noch nach drei bis vier Tagen am bereits gebildeten Embryo eine Stelle, welche in einem gewissen Sinne der Anstichstelle des Eies entsprechen musste. Wenn ein solcher Faden nicht bestand, so war kurze Zeit nach dem Aufhören des Ausfliessens von Substanz die Anstichstelle nicht mehr kenntlich, indem die anfängliche leichte Einziehung und Faltung der dünnen, und, wie sich aus letzterem Verhalten ergibt, fast starren Oberflächenschicht, sich bald ausglich.

Die angestochene Zelle selber vergrösserte sich augenscheinlich wieder durch Zufluss aus der Nachbarschaft, sofern die Operation während der ersten Furchungen geschah.

Ein Theil der operirten Eier furchte sich nicht oder bloss noch einige Male weiter. Der Tod des Eies markirte sich in diesen frühesten Phasen der Entwicklung dadurch, dass die Furchungskugeln ihre eigene Rundung verloren und die Gesammtheit derselben sich unter fast vollkommenem Verstreichen der Furchen wieder zu einer einzigen Kugeloberfläche abplattete; ein Beweis wohl, dass die selbständige Rundung jedes Furchungstheiles activ aus eigener Kraft hergestellt und erhalten wird. Es tritt also, formal betrachtet, gerade die entgegengesetzte Leichenerscheinung ein als später, nachdem erst die oberflächlichen Furchungskugeln einmal ihre epitheliale Function zu übernehmen begonnen haben.

Von hohem Interesse ist auch das Verhalten, dass vor oder nach der ersten und zweiten Furchung angestochene Eier sich manchmal bloss auf der unversehrten Hälfte weiter furchten, während auf der angestochenen Seite bloss die bereits begonnene oder noch die ihr nächstfolgende Furchung, und dann zumeist in atypischer Richtung, vor sich ging. Darin bekundet sich eine sehr wichtige Unabhängigkeit der Furchungssegmente von einander; während aber andererseits das weitere Verhalten, dass der überlebende Theil nicht mit mehr als vier bis fünf Furchungen den anderen überdauerte, auch auf eine gewisse Abhängigkeit der Theile von einander hinzudeuten scheint, welche freilich ohne weitere Prüfung zunächst auch einfach auf einen schädlichen Einfluss der absterbenden Substanz auf die benachbarte lebende bezogen werden kann.

Die sich nicht mehr weiter entwickelnden Eier verloren zum Theil sehr bald ihre schöne schwarz- oder hellbraune Färbung und wurden grau verfärbt, und das „Fruchtwasser“, wie wir der Kürze halber die Flüssigkeit zwischen Gallerthülle und Ei oder Embryo nennen wollen, trübte sich. Dieses Verhalten glaube ich als Zersetzung durch Infection auffassen zu sollen, da ein anderer Theil der seinen Tod bekundenden Eier noch Tage lang seine Lebens-

farbe behielt und sie erst nach dem Auslösen aus der Gallerthülle verlor. Blieb also nach dem Eintritt des oben angegebenen Zeichens des Todes die Verfärbung aus, so glaubte ich den Tod selber als eine directe Folge des Eingriffs auffassen zu müssen; während andernfalls, wenn kurze Zeit nach dem Eingriffe schon Verfärbung sich zeigte, der Tod die Folge der Infection sein konnte, und daher keinen Schluss auf die Gefährlichkeit der vorgenommenen Verletzung an sich zuliess.

Für die Richtigkeit dieser Auffassung sprach auch, dass sehr häufig der Tod mit Verfärbung bei der geringsten Verletzung, welche einen nur minimalen Substanzaustritt zur Folge hatte, oder in einer ganzen Schale operirter Eier eintrat; während vielmal grössere Substanzverluste in einer anderen Glasschale ausnahmslos vertragen wurden.

Nach dieser Auffassung stellt sich die Infection als die hauptsächlichste Todesursache der operirten Eier dar, und als ich gelernt hatte, diese zu bekämpfen, sank die Sterblichkeit in manchen Serien auf etwa 20 %. Leider aber machten sich bei den diesjährigen Versuchen (1884) in Folge der Ungunst äusserer Verhältnisse neue Infectionsquellen geltend, welche mir auch die sorgfältigst angelegten Versuchsreihen durchaus zerstörten, so dass ich die Fortsetzung dieser Art Versuche schon auf spätere Jahre, bis zum Eintritt besserer äusserer Verhältnisse, verschieben wollte, als zuletzt noch einige Serien sich gut entwickelten, welche aber in Bezug auf die spätere Verwerthung ihrer eventuellen Resultate weniger sorgfältig vorbereitet waren.

Die grössten Substanzverluste, welche nach einseitigem Anstechen ertragen wurden, ohne die Entwicklungsfähigkeit vollkommen aufzuheben, erreichten etwa ein Fünftel bis ein Viertel der gesammten Eisubstanz. Dagegen furchten sich durch und durch gestochene Eier nur in seltenen Fällen noch mehrere Male weiter, auch wenn der nachfolgende Substanzaustritt ein nur geringer war.

Die Erscheinungen der weiteren Entwicklung der operirten Eier zunächst im Allgemeinen angebend, so sind diese sowohl der Uebersicht halber, wie wohl auch ihren Ursachen nach, in drei verschiedene Gruppen zu sondern.

Ein grosser Theil der die Operation überlebenden Eier entwickelte sich, der äusseren Form und dem späteren munter beweglichen Verhalten der Embryonen nach zu urtheilen, vollkommen normal. Eine höhere Sterblichkeit schien ihnen aber doch eigen zu sein, indem sie häufig von kleinen, bei den zum Zwecke der Besichtigung nöthigen Umwendungen erhaltenen Verletzungen aus abstarben. Viele Embryonen waren auffallend klein, und es schien diese Kleinheit nicht bloss von der Menge des stattgehabten Verlustes an Keimmaterial abhängig zu sein, denn sie war auch bei in dieser Hinsicht ganz unerheblichen Extraovaten deutlich ausgesprochen. Ich glaube sie daher noch mit einer anderen Erscheinung in Verbindung setzen zu müssen, mit einer häufig sehr ausgesprochenen Verzögerung der formalen Entwicklung, welche ihrerseits in einem gewissen Gegensatze zu dem zeitlich normalen, nicht wesentlich verzögerten Ablaufe der Furchung zu stehen schien oder richtiger vielleicht gerade davon abhängig war. Während dieser längeren Dauer wurde vielleicht ein grösserer Theil des Dottermaterials im Stoffwechsel verbraucht und aus dem gleichen Grunde vielleicht geschah es, dass viele äusserlich wohlgebildete und auf Reize gut reagirende Larven um die Zeit der Kiemenbildung, augenscheinlich durch zu frühes Zuendegehen des Nahrungsdotters, starben, indem dieser bereits aufgezehrt war, ehe der Schwanz sein Selbsterhaltungsvermögen verloren hatte und als weiteres Nahrungsmaterial verwendet werden konnte. Weiterhin aber ist zu erwähnen, dass manche der äusserlich normal geformten Embryonen auf einer Entwicklungsstufe stehen blieben und Framboisia minor oder auch major ausbildeten, ohne dass eine neu hinzugekommene Schädlichkeit als Ursache dieses plötzlichen Stillstandes hätte nachgewiesen werden können. Solcher Stillstand fand nach der Bildung der Medullarwülste, oder nach Schluss des Medullarrohres, oder zur Zeit der Anlage der Kiemen statt, um das Stehenbleiben auf der Gastrulastufe, welches auch sonst häufig vorkommt, nicht zu erwähnen.

Die zweite Gruppe von Erscheinungen wird durch Abnormitäten gebildet, welche auch an nicht operirten Eiern nicht selten zu beobachten sind; so zunächst die zahlreichen Deformitäten bei

der Bildung und bei dem verzögerten oder ausbleibenden Schlusse des Urmundes mit Divergenz und Verbiegung der Medullarwülste, ja mit Spaltung der Medullarfurche von hinten nach vorn. Ferner die hydropischen Aufblähungen: zunächst der Hydrops der Gastrula (welcher namentlich bei Entwicklung der Eier in Zwangslage äusserst häufig, nach blossem Anstechen der Eier aber selten ist). Dann später der Hydrops der Halsgegend, seltener der mittleren oder hinteren Bauchgegend, oder des ganzen Leibes. Ausserdem die Verbiegungen des Embryo, von denen Lordosen bis zu einem rechten Winkel zwischen Hals- und Schwanztheil, oder Scoliosen bis fast zur Berührung von Kopf und Schwanz während des eigentlichen embryonalen Lebens, d. h. innerhalb der Gallerthülle, zur Norm gehören. Diese Bildungsalterationen gleichen sich nach der Befreiung von der Gallerthülle rasch aus; aber bloss sofern diese Entledigung von der Hülle, wie unter normalen Verhältnissen stets der Fall ist, zu einer Zeit geschieht, wo der Embryo schon active Locomotionsbewegungen ausführt. Embryonen, welche ich schon vor dieser Zeit aus der Gallerthülle herausgenommen hatte, behielten ihre Krümmungen manchmal noch längere Zeit, bis zum Eintritt der Bewegungen; ein schönes Beispiel functioneller Orthopädie.

Die dritte Gruppe den Operationen folgender Erscheinungen besteht in Abnormitäten, welche an nicht operirten Eiern nicht oder nur äusserst selten, an den operirten aber relativ häufig vorkamen. Um die Entwicklung der operirten Eier mit dem normalen Entwicklungsverlauf vergleichen zu können, wurden von jeder Versuchsreihe unversehrte Eier derselben Versuchsthiere erhalten und gepflegt. So konnte auch die relative Häufigkeit von Missbildungen und die Natur derselben bei operirten und nicht operirten verglichen und dadurch sicher festgestellt werden, dass die zu erwähnenden Missbildungen der operirten Eier grösstentheils als Folgen der stattgehabten Eingriffe anzusehen sind.

Um dem Leser selber ein Urtheil über die bisherigen Ergebnisse sich bilden zu lassen, will ich hier einen etwas ausführlichen Bericht über die angestellten Versuche geben, welchem dann die Zusammenfassung der Ergebnisse und die daraus abzuleitenden

Schlüsse folgen werden. Es wird jedoch überall hervortreten, dass bis jetzt, zufolge der diesjährigen ungünstigen Verhältnisse, bloss noch erste Orientirungsversuche vorliegen, und dass diese Lückenhaftigkeit der Versuchsreihen nur sehr allgemeine Folgerungen zu ziehen gestattet.

Unmittelbar vor der Befruchtung angestochene Eier haben sich nur äusserst selten und dann nur einige Mal und zwar atypisch gefurcht.

Von den Eiern von Rana fusca, welche etwa eine Stunde **vor dem** präsumptiven **Eintritt der ersten Furchung** angestochen waren, entwickelte sich der grösste Theil. Eine Anzahl von diesen vollzog unter normalen äusseren Formen den Schluss des Medullarrohres und wurde in diesem Stadium aufbewahrt. Einem Embryo wurde die Gelegenheit zur weiteren Entwicklung gelassen, soweit bis er, noch normal gebildet, aus der Gallerthülle ausgeschlüpft war. Die Entwicklung, besonders der Schluss des Urmundes und der Rückenfurche, waren erheblich verzögert, obgleich oder gerade, weil in der Furchung keine wesentliche Verlangsamung eingetreten war.

Ausserdem waren verschiedene Abnormitäten zu beobachten. Zunächst nach dem Anstechen am schwarzen Pol. Einige Eier blieben im Stadium der Gastrulabildung stehen und eines davon hat die Birnform, welche mit der Ausbildung der Medullarwülste zu entstehen pflegt, angenommen, ohne selber Medullarwülste gebildet zu haben. Bei zwei gleichfalls bereits birnförmigen Embryonen war nur die vordere Hälfte der Medullarwülste angelegt; einer brachte das Medullarrohr nur vorn zum Verschluss, während hinten die Medullarwülste getrennt blieben. Zwei Embryonen zeigten Abnormitäten am Kopfe: bei dem einen ist die rechte Kopfhälfte in frontaler Richtung zu schmal und auch sonst etwas deform und entbehrt des Haftnapfes, welcher sonst sogar beim Fehlen der Gehirnblasen sich auszubilden pflegt und in diesem Falle an der andern Hälfte deutlich ausgeprägt ist. Bei dem andern Embryo ist der ganze Kopftheil zu klein und verbildet.

Zwei der hierher gehörigen Eier waren auf der Blastulastufe stehen geblieben, und das Extraovat, welches wohl wenigstens 1/15 der ganzen Eisubstanz betragen mochte, war durch einen dünnen Strang mit dem Ei in Verbindung geblieben und zeigte ein wichtiges Ver-

halten, das ich weiterhin an fast allen aufbewahrten Extraovaten feststellen konnte. Der Austritt ist an seiner Oberfläche schwarz und lässt daselbst eine gleichmässige Körnelung, von derselben Korngrösse als die der Eisubstanz selber, erkennen; die Oberfläche des Austrittes besteht also aus Furchungskugeln. Die Frage, ob diese bloss als Epithelien vom Ei herübergewachsen sind und so das Extraovat überzogen haben, oder ob die ausgetretene Substanz sich selber gefurcht hat, entscheidet sich auf dem Durchschnitt durch Ei, Extraovat und ihren Verbindungsstrang dahin, dass die ausgetretene Eimasse gleich dem Eie selber segmentirt ist. Der Durchschnitt zeigt zugleich, dass der Austritt in diesem Falle vorzugsweise aus schwarzer Substanz besteht, welche einige concentrische Schichten bildet. Dies letztere Verhalten deutet wohl auf mehrmalige Wiederholungen des Austretens der Substanz hin. Die Färbung mit saurem Carmin und die Zerlegung in mikroskopische Schnitte liess dann weiterhin die Existenz von Zellkernen in den Furchungskugeln des Extraovates nachweisen. Da die Extraovate, wie gleich allgemeiner gesagt sein soll, häufig eine eigenthümliche Gestalt zeigten, welche nicht ohne besondere Feststellungen allein auf die Wiederholungen der Substanzaustritte und auf die Widerstände der Gallerthülle zurückgeführt werden darf, so könnte man vielleicht nach Erkenntniss der Segmentirung auch eine active Gestaltbildung und eine entsprechende Structurbildung als mitbetheiligt vermuthen. Erstere hätte nur durch genaue Verfolgung der eventuellen nachträglichen Formwandlungen des Extraovates nachgewiesen werden können, was leider bis jetzt nicht geschehen ist, da die Segmentirung erst an den conservirten Präparaten, nach Befreiung von der Gallerthülle, wahrgenommen wurde. Eine besondere auf Selbstgestaltung hindeutende Structur konnte ich an den Schnitten der Extraovate nur insoweit nachweisen, als eine geschlossene Epithelschicht an der Oberfläche derselben sich herstellte. Ueber die wichtige Frage von der Abstammung dieses Kernmateriales werden erneute Versuche unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens derjenigen Extraovate, welche von vorn herein nicht durch einen Strang mit dem Ei in Verbindung geblieben sind, im nächsten Frühjahr Aufschluss geben.

Die am weissen Pole angestochenen Eier sind zumeist trüb geworden und nur wenige haben sich zwei Tage lang entwickelt; zwei davon unter Bildung eigenthümlicher, das Ei parallel oder in leichter Convergenz umziehender Furchen, je zwei an einer Gastrula (vielleicht bloss post mortem entstandene Falten).

Beim Anstechen **nach der ersten Furchung** beobachtete ich zunächst, dass manchmal die zweite Furche auf der angestochenen Seite durch die Anstichstelle hindurch sich bildete, auch wenn die Furche selber dadurch schräg zur ersten Furche und zur anderen Hälfte der zweiten Furche, im Bereiche der anderen Zelle, zu stehen kam.

Von vier verletzten Eiern eines Versuches an Rana fusca entwickelten sich zwei, von denen eines eine nicht vollkommen geschlossene Gastrula mit Anlage assymmetrischer Medullarwülste bildete; der Tod erfolgte unter Trübung, also wohl durch Infection. Das andere Ei schloss den Urmund und zum Theil das Medullarrohr und bildete eine normale Schwanzanlage; vor der letzeren aber ist das Medullarrohr offen geblieben und der Embryo zeigt an seiner ventralen Wandung einen circumscripten Defect der schwarzen Schicht, durch welchen die weisse darunter liegende Schicht sichtbar wird. Er stirbt am vierten Tage allmählich von einer Verletzung am Kopfe aus, aber indem die Wundstelle grau macerirt erscheint und der Epithelsaum in der Umgebung in den Zustand der Framboisia minor übergeht, welche sich mit dem Weiterschreiten der Maceration zugleich weiter verbreitet.

Ueber die Folgen der Verletzung **nach der zweiten Furchung** steht mir ein reicheres Material mit besserer Localisation zur Verfügung, da eine der diesjährigen Serien hierher fällt. Nachdem ich im vorigen Jahre gefunden hatte, dass die erste Furche unter normalen Verhältnissen schon die Richtung der künftigen Medianebene bestimmt und, abgesehen von kleinen Correctionen während der nächsten Furchungen, das Material des Eies dem entsprechend theilt, erhielt eine genaue Notirung der Anstichstelle einen höheren Werth. Zugleich hatte ich gefunden, dass bei Rana esculenta schon zur Zeit der ersten Furche über das Vorn und Hinten entschieden ist, da die Eiachse sich schräg einstellt und

der Urmund immer auf der Seite entstand, wo der weisse Pol mit einem Saum an der oberen Fläche des Eies sichtbar wurde, und dass die zweite Furche dieser Ungleichheit der durch sie geschiedenen Theile dadurch Ausdruck gibt, dass sie mehr nach dem weissen, hinteren Theil hin gelagert ist. Zugleich aber hatte ich nach einer einzigen gemachten Beobachtung die Vermuthung ausgesprochen, dass unter noch unbekannten Umständen die so durch ihre Stellung zur Eiachse und zum künftigen Embryo physiologisch bestimmte zweite Furche zeitlich auch als erste auftreten könnte. Diese Vermuthung bestätigte sich in diesem Jahre unerwünscht häufig und zwar unter Umständen, welche zugleich eine Localisirung zu erschweren geeignet waren. Doch glaube ich die Ursache dieses Vorkommnisses aufgefunden zu haben [1]) und diese Fehlerquelle daher bei den nächsten Versuchen vermeiden zu können. Damit erklärt und erledigt sich auch Rauber's irrthümliche Einwendung, dass normalerweise die erste Furche quer zur künftigen Medianebene stehe, denn er hat seiner Angabe nach unter Umständen untersucht, welche ich als die Ursache dieses Anachronismus der Furchen erkannt habe.

Zunächst will ich einige beim Anstechen in diesem Stadium beobachtete Einzelheiten erwähnen, ohne damit aber andeuten zu wollen, dass sie gerade diesem Stadium eigenthümlich wären. In mehreren Fällen wurde eine feine Nähnadel durch das viertheilige Ei hindurch und in den Wachsboden des Gefässes gesteckt und stecken gelassen. Die im einen Falle unversehrt gebliebenen drei Zellen theilten sich darnach noch einmal, bildeten die Aequatorialfurche und platteten sich darauf zur gemeinsamen Kugelform des Eies ab; die durchstochene Zelle theilte sich dagegen nicht weiter. Im Wesentlichen derselbe Erfolg trat ein, wenn zwei neben einander gelegene Zellen gleichzeitig durchspiesst waren. Man kann fragen, welche Correlation der Zellen unter einander durch die Verletzung der einen Zelle gestört wurde, oder welche deletäre Wirkung von der verletzten auf die unverletzte Zelle ausging, um den Tod aller

1) Vgl. Tageblatt der 57. Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Magdeburg 1884 S. 330 und Beiträge zur Entwicklungsmechanik etc. Nr. 3, Breslauer ärztl. Zeitschrift 1885.

hervorzubringen. Wenn alle vier Zellen in gleicher Weise dadurch verletzt wurden, dass die Nadel längs der Furchungsachse eingestochen war, theilten sich alle bloss noch einmal. Die Nähnadeln selber, welche einen Tag in dem Eie verweilt hatten, zeigten ganz bestimmte Arrosionsfiguren, welche nach der Herausnahme und nach dem Abwischen noch deutlich die intraovale Strecke und die äussere und innere Grenze der in der Gallerthülle befindlich gewesenen Strecke erkennen liessen und auf sehr kräftige oxydirende Wirkungen aller dieser Theile hindeuteten. An einer zur Durchstechung verwendeten Stecknadel war ein brauner Fleck, wohl von Schwefelkupfer herrührend, zu bemerken.

Einige Male beobachtete ich, dass nach dem blossen Anstechen einer der vier Zellen die der Anstichstelle nächste Furche sich nachträglich verschob, bis sie durch die Anstichstelle hindurchging, wobei dann auch die anderen Furchen etwas mitalterirt wurden und einmal eine vorher nicht vorhandene sog. Brechungsfurche entstand. Im Beitrag III wird über weitere Alterationsversuche der Furchen berichtet.

Einer meiner ersten Anstechversuche an Froscheiern bestand darin, dass eine der vier Zellen des zweimal gefurchten Eies von Rana fusca oben grob aufgeschlitzt wurde, bloss um zu sehen, wie viel eventuell vertragen werde. Es trat sehr viel Eiinhalt aus. Gleichwohl entwickelte sich das Ei weiter und liess einen deutlichen Acephalus hervorgehen. Vor den Kiemenhöckern des in seiner Entwicklung stark verzögerten Embryos befand sich nur eine unregelmässig geformte, aber allenthalben schwarz überzogene Masse von kaum einem Viertel der Masse eines normalen Kopfes, während der übrige Theil des Embryo vollkommen normal gestaltet war, aber auf Berühren und Anstechen nicht recht reagirte. Am sechsten Tage macerirte das Thier vom vorderen Ende aus und es trat Framboisia minor am Rumpfe ein.

Bei der diesjährigen Versuchsreihe (an Rana esculenta) wurden die Anstichstellen in kleine Situationsskizzen der oberen Hemisphäre nebst der Lage der beiden ersten Furchen und der Stellung des weissen Saumes eingetragen. Bei einer Anzahl der Eier aber stand die Eiachse fast senkrecht oder bei anderen fanden Pigmentwande-

rungen statt, so dass vorn und hinten am Eie oft nicht sicher zu bestimmen war. Von 28 operirten Eiern dieser Serie entwickelten sich 11 anscheinend normal, 13 bildeten Abnormitäten und 4 starben vor der Gastrulabildung ab.

1. (Nr. 113.) Anstich rechts hinten an der Grenze des Weissen und Braunen, also in der Gegend der präsumptiven Anlage des Urmunds. Effect: Am Rande des Urmundes hängt noch das Extraovat und ist so fein gefurcht als das Material der Gastrula selber. Der Urmund ist noch weit offen, aber seine Abgrenzungsfurche von braunen kugelig gerundeten, also Framboisia minor darstellenden Zellen ausgefüllt; und letztere haben sich auch noch auf den angrenzenden Theil des weissen Dotters ausgebreitet. Dieser interessante abnorme Vorgang wurde wiederholt an Eiern beobachtet, welche mehrere Tage lang auf der Gastrulastufe stehen blieben, ohne im Stande zu sein, sie zu überschreiten.

2. (Nr. 114.) Die gleiche Operation mit dem gleichen Effect.

3. (Nr. 116.) Verletzung wiederum an der Stelle der präsumptiven Urmundsanlage etwas rechts neben der ersten Furche. Die Medullarwülste werden gut ausgebildet, aber die Rückenfurche schliesst sich nicht; ihre ventrale Vereinigung zeigt hinter der Mitte der Länge der Medullarfurche einen quergestellten Defect in der braunen Schicht, innerhalb dessen weisse Substanz sichtbar ist. Ueber diese Stelle ist der ganze Embryo lordotisch rückwärts gekrümmt, so dass der hinterste Theil und der Nackentheil sich fast berühren, wobei sich neben dem Defect die Medullarwülste stark seitwärts ausbiegen. Kopftheil von vorn her abgeplattet, aber trotz mangelnden Schlusses des Medullarrohres schon etwas specifisch geformt, Haftnapfpigment schon beiderseits gut ausgebildet und scharf abgegrenzt.

4. (Nr. 140.) Anstich an derselben Stelle, aber mehr rechts von der ersten Theilungsebene. Defect wie vorher, Embryo aber weiter entwickelt; Schwanz ausgebildet, gleichfalls lordotisch rückwärts gebogen, berührt den schon etwas mehr differenzirten Kopftheil, in dessen vorderstem Bereiche die Medullarwülste sich berühren. Die seitliche Ausbiegung der Medullarwülste an der Defect- und Biegungsstelle ist assymmetrisch, mehr nach links

entwickelt. Haftnapfanlage beiderseits vorhanden. [Eine andere Skizze trägt leider gleichfalls die Nr. 140 und ist bei ihr die Anstichstelle links, aber als auf der Unterfläche des Eies gemacht, notirt; der zweite unter Nr. 140 aufbewahrte Embryo ist weiter entwickelt, ausgeschlüpft und anscheinend normal.]

5. (Nr. 117.) Neben der ersten Theilungsebene am Rande der oberen Hälfte des Eies (rechts hinten oder links vorn) angestochen. Embryo stark deform, schwer zu deuten. Medullarrohr anscheinend geschlossen. Links vorn[1]) am Rumpfe und seitlich an der Halsgegend hängt noch die ausgetretene braune Substanz heraus; Embryo nach dieser Stelle hin stark concav gebogen. Scheitelpigment verstärkt; Haftnapfpigment und Haftnäpfe nicht angelegt, Schwanzanlage unterscheidbar.

6. (Nr. 118.) Anstich am Rande der unteren Hälfte des Eies, entweder rechts hinten oder links vorn. Embryo der Hauptsache nach normal gestaltet mit deutlicher Kopfmodellirung und Schwanzanlage, nach der linken Seite concav gebogen; nur rechts am Halse ein kleiner streifenförmiger Defect der braunen Schicht, durch welchen weisse Substanz hervortritt.

7. (Nr. 119.) Anstich rechts neben der ersten Furchungsebene etwas nach vorn von der Mitte des Eies, also an der rechten vorderen (grossen) Zelle. Die Symmetrieebene der Pigmentvertheilung auf der oberen Hemisphäre und die erste Furche fallen nicht zusammen, sondern bilden einen Winkel von etwa 45°. Embryo nach links zusammengebogen bis zur Berührung von Kopf und Schwanz. Körperform im Ganzen wohlgebildet mit Kiemenansätzen und Haftnäpfen, nur der Scheitel des Kopfes klein, faltig, wie von mehreren Seiten zusammengedrückt. Beim Conserviren des Embryo am fünften Tage hing das Extraovat nach einer Notiz im Journal noch durch einen dünnen Strang „oben“ (soll wohl heissen am

1) In Bezug auf das Ei bedeutet hinten stets die Seite, wo die Anlage des Urmunds erwartet wurde, vorn die entgegengesetzte Gegend. Am Embryo dagegen bestimmen sich hinten und vorn nach der Richtung schwanz-scheitelwärts, da diese letzteren Ausdrücke für Gebilde, welche weder Scheitel noch Schwanz haben, nicht recht verwendbar scheinen. Oral wird bloss am Rumpfe verwendet, da es an Hals und Kopf logischerweise die verschiedensten Richtungen bezeichnen würde. Vgl. S. 461.

Scheitel) mit dem Kopfe zusammen; doch ist die Ansatzstelle dieses Stranges nicht mehr mit Sicherheit aufzufinden. Die linke Seite des Embryo durch Durchschneiden des Embryo sichtbar gemacht, ist blass und etwas platt, zeigt aber nirgends einen Defect. [Häufig ist die Seite, nach welcher der Embryo gebogen ist, blass, pigmentarm. Die Biegung selber aber ist auffallend häufig nach links erfolgt.]

8. (Nr. 115.) Anstich dicht links neben der ersten Furchungsebene an der hinteren Ecke der vorderen Zelle. Embryo entsprechend der Entwicklungsstufe von vier Tagen im Ganzen wohl ausgebildet, Medullarrohr geschlossen; Kopf und Schwanz wohl modellirt und nach links gebogen; Rest des Urmundes unter dem Schwanz etwas nach rechts verlagert. Rechts am Halse ein brauner Höcker. Links ist neben dem Medullarrohr auf der Grenze des Hals- und Rumpftheiles ein circumscripter braun umgebener kleiner Defect!

9. (Nr. 120.) Anstich dicht neben der ersten Furchungsebene, entweder etwas links vor oder rechts hinter dem oberen Eipole. Embryo im Ganzen wohlgegliedert und geformt, Rumpf und Schwanz bis zur Berührung nach links gebogen; Gehirntheil des Kopfes zu klein, besonders links braun pigmentirt und faltig verkrüppelt. Das Extraovat, vielleicht 1/15 des Eies betragend, war noch vor dem Conserviren durch einen Strang mit dem Kopfe verbunden, ist segmentirt in derselben Feinheit wie die Masse eines Durchschnittes aus dem Rumpfe des Embryo. Das Extraovat ist viel grösser als der Verkleinerung des Kopfes entspricht.

10. (Nr. 141.) Anstich in der Mitte der oberen Fläche der linken vorderen Zelle. Embryo wie vorhergehender entwickelt und nach links zusammengebogen. Kopf gleichfalls etwas faltig deformirt, besonders links im Gehirntheil, daselbst findet sich eine schmale, schräg verlaufende prominirende Leiste, welche nach dem Vergleich mit anderen Embryonen, wo eine solche Leiste noch stellenweise gespalten war und das Weisse hindurchsehen oder gar hervortreten liess, als die Narbe eines eben geschlossenen Defectes der oberflächlichen Schichte aufgefasst werden kann.

11. (Nr. 142.) Die hintere rechte Zelle vorn oben rechts angestochen. Embryo durch Krümmung bloss im Halstheile bis zur Berührung von Kopf und Schwanz nach rechts zusammengebogen, sonst wohlgeformt, bis auf einen links vorn am Kopfe sich findenden Defect der braunen Oberflächenschicht, welcher die Gegend des fehlenden linken Haftnapfes einnimmt. Das Pigment ist aber um diesen Defect nicht zu einem geschlossenen Abgrenzungssaum verdichtet und auch hat das Epithel der Umgebung nicht angefangen, sich mit einem abgerundeten Saum auf den Defect auszubreiten; derselbe begrenzt sich im Gegentheil scharfrandig mit vielen feinen Zacken und ist somit als postmortal beigebracht zu betrachten, da jede Reaction des lebenden Organismus fehlt. Dagegen zeigt sich nach der Zerschneidung des Embryo an der Umbiegungsstelle seitlich an der rechten Kopfhälfte ein länglicher, von lebendiger Reaction der Umgebung zeugender Defect in der Oberflächenschicht.

Die andern missbildeten Embryonen sind, durch Abfall der Etiquetten oder durch Zerstörung in Verlust gerathen. Desgleichen zwei schon nach 30 Stunden zur Untersuchung der Verletzungsstelle im Blastulastadium aufgehobene Eier.

Von weiteren, anscheinend normalen, bereits ausgeschlüpften Embryonen sind sechs nach Verletzung der oberen, drei nach Verletzung der unteren Hemisphäre entstanden. Sie bekamen schliesslich zumeist Hydrops der Halsgegend unter starker seitlicher Verwölbung der Kopfnieren. An einem der Embryonen ist eine circumscripte hydropische Stelle auch noch mitten in der Bauchgegend. Ein zehnter Embryo zeigte dagegen allmählich eine runzelige Deformation des Schwanzes mit abnorm starker Pigmentirung und Framboisia major et minor.

Beim Anstechen nach der **dritten** Furche, also nach der ersten Aequatorialfurche, erhielt ich neben anscheinend normalen Quappen und nicht weiter sich entwickelnden Eiern folgende Deformitäten resp. Defectbildungen. Bei Verletzung an der oberen Hemisphäre von Rana fusca: Ein Embryo zeigt die Medullarwülste ventral nicht durch schwarze Substanz verbunden, sondern in ganzer Länge durch die zu Tage tretende weisse Substanz von einander geschieden und nach hinten divergirend. Medullarfurche dabei natürlich

offen; gleichwohl traten an dem nicht abgegliederten Kopftheil die Haftnäpfe auf. Links am Halse ist eine circumscripte stark prominirende Geschwulst. Ein anderer Embryo, 5 Tage alt, ist wohlgebildet in Kopf, Rumpf und Schwanz, aber mit einem schrägen, schmalen, in der Vernarbung begriffenen Defect der schwarzen Schicht auf der rechten Seite des Leibes und Halses. Zwei der normalen Embryonen wurden nach dem Ausschlüpfen noch bis zur quer verbreiterten Quappenform forterhalten und schienen auch da noch vollkommen normal und ernährten sich gut.

Für die Anstechung in späteren Stadien der Furchung ist zu bemerken, dass eine genaue Notirung der Anstichstellen, ob vorn, hinten, rechts oder links dadurch fast werthlos wird, dass die erste Furche nicht mehr kenntlich ist und bei den Anstechversuchen leicht Drehungen des Eies eintreten können. Letztere werden voraussichtlich auch die Veranlassung gewesen sein, dass in einigen Fällen von Anstechversuchen nach der zweiten Furche die Seite des notirten Anstichs nicht der Seite des Defectes am Embryo entsprochen hat, denn wenn unversehens eine Drehung von 45° stattgefunden hat, so war eine sichere Beziehung der Furchen nicht mehr möglich.

Von Verletzungen nach der vierten Furche habe ich folgende Präparate von Rana fusca aufgehoben. Drei Embryonen, deren Eier an der Grenze der weissen und schwarzen Hemisphäre, also vielleicht in der Gegend der Anlage des künftigen Urmundes angestochen und nach vier Tagen aufgehoben wurden. Einer ist normal gestaltet; der andere in den Hauptformen desgleichen, zeigt aber in der Mitte der Länge des sonst überall geschlossenen Nervenrohres ein kleines rundes Loch, zu welchem ein weisser Pfropf heraussieht, ein Zeichen, dass auch ventral das Medullarrohr an der Stelle durchbrochen sein wird. Lordose nicht stärker als auch sonst in diesem Stadium. Der dritte Embryo ist gleichfalls im Allgemeinen normal gegliedert, zeigt aber in derselben Gegend des Rückens und weiter nach hinten ein weites seitliches Auseinanderweichen der Medullarwülste, verbunden mit starker Lordose des Embryo. Das Medullarrohr ist oral davon geschlossen, aboral sind die beiden Schwanz-

anlagen vereinigt aber stark in die Breite gebildet. Von der starken Rückwärtsbiegung geht jederseits eine Falte schräg ventral und vorwärts über den Leib. Wir haben also zweimal eine Verbildung resp. Defect des Medullarrohres hinter der Mitte desselben, wie beim Anstechen des Eies an gleicher Stelle nach der zweiten Furche. Der eine dieser beiden Fälle zeigt bereits ein kräftiges erfolgreiches Regenerationsbestreben, und wir wissen nicht, ob der ersterwähnte normal sich präsentirende Embryo überhaupt keine Störung in seiner Entwicklung erlitten hatte, oder ob sie bereits wieder ausgeglichen ist. Wenn eine Störung vorhanden war, so muss sie indes sehr gering gewesen sein, so dass sie bei der Besichtigung des Eies innerhalb der Gallerthülle übersehen werden konnte; denn ich habe meist die Regel befolgt, sobald wahrgenommene Entwicklungsstörungen ausgeglichen zu werden begannen, die Embryonen zu conserviren, da es mir vorerst nicht um das Studium der Regeneration, sondern der Entwicklungsalterationen zu thun war.

Vom Anstechen an der schwarzen Hemisphäre nach dem Auftreten der vierten Furche besitze ich acht Embryonen, gleichfalls im Alter von vier Tagen. Die Zahl der in jener Serie operirten Eier ist nicht notirt, aber es ist anzunehmen, dass alle Eier, welche sich überhaupt nach dem Eingriffe noch über die Blastula hinaus entwickelt haben, aufgehoben worden sind. Drei Embryonen zeigen bei normaler Anlage der einzelnen äusseren Theile eine Auftreibung der Kopf- und Halsgegend, welche im Spiritus zu einer starken Schrumpfung mit vielfachen Verbiegungen führte, so dass wohl ein hydropischer Zustand eines Hohlraumes vorhanden gewesen ist. An einem dieser Embryonen ist durch Verletzung nach dem Härten der Medullarkanal im Hals- und hinteren Kopftheil geöffnet; er zeigt sich erweitert und stellenweise prominiren die Epithelien halbkugelförmig gegen das Lumen, ein Zeichen, dass die Framboisia minor, welche an der äusseren Oberfläche dieses Embryo vorhanden ist, auch an der inneren Oberfläche möglich ist. Der Embryo war also schon vor dem Conserviren von selber abgestorben, ohne dass ausser der früheren Operation eine Schädlichkeit eingewirkt hatte. Ein anderer Embryo ist normal gestaltet,

hat aber eine grosse Narbe auf der rechten Seite von Rumpf und Hals; ein zweiter desgleichen. Ein Embryo hat den Kopf mit den Haftnäpfen, sowie Kiemenanlagen gebildet; aber alles ist faltig verschrumpft an Kopf und Rumpf, und in der Mitte des Rückens fehlt die rechte Hälfte des Medullarrohres nebst den angrenzenden Seitentheilen des Rumpfes und durch den Defect tritt ein grosses viereckiges Stück weisser Masse zu Tage. Ein anderer Embryo zeigt die Medullarwülste bloss vorn und hinten vereinigt, sonst aber in ihrer ganzen Ausdehnung ein grosses, mit weisser Masse angefülltes Loch umgrenzend. Dem letzten Embryo fehlt die ganze rechte Hälfte des Rumpfes und Halses einschliesslich des rechten Medullarwulstes; und an deren Stelle tritt wiederum eine weisse Masse aus der schwarzen Umrandung heraus. Gleichwohl zeigt die linke Kopfseite eine Haftnapfanlage und Scheitelpigment. So viel ich weiss, ist eine derartige Missbildung mit Entwicklung bloss einer Antimere, die ich als Hemicormus lateralis bezeichnen will, noch bei keinem Wesen beobachtet worden.

Nach dem Anstechen der weisssen Hemisphäre sind sechs Embryonen aufbewahrt, gleichfalls vier Tage alt, davon drei anscheinend normal sind. Einem sonst normal beschaffenen fehlt die linke Schwanzanlage und der angrenzende Theil der Rumpfwandung; einem anderen fehlt die rechte Schwanzanlage und an der rechten Seite des Rumpfes ist noch ein schmaler Defect in der Oberflächenschicht. Das letzte Ei ist auf dem Stadium der Gastrulabildung stehen geblieben; es schien eine reguläre Rückenfurche angelegt zu haben; dieselbe ist aber durch Verschrumpfung und Framboisia nachträglich wieder undeutlicher geworden.

Nach dem Anstechen an der unteren Seite des Eies ist also entweder keine Verbildung oder ein dorsal oder ventral an dem hintersten Theile des Embryo gelegener Defect entstanden. Nach dem Anstechen an der hinteren Grenze des Weissen und Schwarzen waren die Störungen in der Mitte des Medullarrohres, und bei Verletzung innerhalb des schwarzen Theiles der oberen Hemisphären zeigten sich Störungen oder

Defecte ventral oder dorsal an der Kopfhälfte des Embryo.

Beim Anstechen nach der **fünften** Segmentirung erhielt ich wieder einmal ein Fehlen fast der ganzen rechten Seite von Kopf, Hals und Rumpf, bei undeutlicher Abgliederung dieser Theile linkerseits. Ein anderer Embryo hat sich viel weiter entwickelt, ist ausgeschlüpft und hat Kiemen; auf der rechten Seite des Rumpfes aber fehlt die Hälfte der schwarzen Bedeckungsschicht; gleichwohl ist die zu Tage tretende weisse Masse nicht abnorm aus dem Defecte herausgewölbt, ein Beweis, dass das oberflächliche Stratum nicht die darunter liegenden Theile zurückzuhalten und in ihrer Form zu bestimmen braucht. Hinten am Rumpfe ist jederseits ein kleiner brauner Stummel herausgewachsen, auf der einen Seite aber etwas weiter vorn als auf der anderen.

Nach der **sechsten** Theilung entstanden bei Anstechung am schwarzen Pol folgende Defecte. So bei einem Embryo ein Defect rechts neben dem nur vorn und hinten geschlossenen Medullarrohr; zugleich fehlt der mittlere Theil des rechten Medullarwulstes selber; die linke Seite des Kopfes zeigt fast normale Form der einzelnen Theile, während rechts nur der Haftnapf unterscheidbar ist. Bei dem anderen Embryo fehlt das hintere Drittel des rechten Medullarwulstes und die angrenzende seitliche Rumpfwandung; ein Strang des Extraovates tritt mit der durch den Defect zu Tage tretenden weissen Masse in Verbindung; das Medullarrohr ist in der vorderen Hälfte geschlossen. Der Kopf normal gestaltet, mit Kiemenansätzen und Haftnäpfen.

Von sieben am weissen Pol angestochenen Eiern haben drei Embryonen Defecte am Hinterleib und in der Schwanzanlage; ein Embryo hat einen gespaltenen Schwanz, welcher in vielfache geknickte sonderbare Formen ausgewachsen ist, aber metamere Gliederung nur in seinem dicksten Hauptttheil erkennen lässt Zwei Embryonen sind normal. Diese und derjenige mit dem abnormen Schwanz werden einige Wochen erhalten und ernähren sich gut, bis sie wegen Aufblähung am Halse getödtet und conservirt werden.

Blastula 19 Stunden nach der Befruchtung angestochen.

1. (Nr. 133.) Auf der Mitte des oberen Poles dicht neben der Medianebene angestochen. Etwa $^1/_{15}$ der Eisubstanz betragendes gefurchtes und mit einem Netz von Pigmentzellen überzogenes Extraovat. Embryo 5 Tage alt, stark nach links gebogen, sonst anscheinend normal bis auf einen kleinen Tumor am Schwanze in der Nähe der Schwanzspitze. Kein äusserer Defect.

2. (Nr. 137.) Anstich oben hinten an der Grenze des Braunen in der ersten Furchungsebene. Embryo 5 Tage alt, ausgeschlüpft, gut entwickelt.

3. (Nr. 135.) Embryo normal geformt, hat aber eine grosse braune Narbe am Hinterleib.

4. (Nr. 134.) Hinten an der Grenze des Braunen in der Gegend der ersten Furchungsebene angestochen. Embryo ausgeschlüpft, normal gegliedert, aber bis zur Verklebung von Kopf und Schwanz nach links concav gebogen; hatte nach dem Journal früher einen kleinen Defect rechts am Halse. Doch führt hierüber die Beobachtung des Embryo innerhalb der Gallerthülle leicht zu Täuschungen, wenn der im Fruchtwasser verbliebene Theil des Extraovates nachträglich mit einer Stelle des Embryo verklebt! Jetzt ist bloss der Kopf etwas verschrumpft.

5. (Nr. 125.) Anstich am Rande in der Gegend der ersten Furchungsebene. Embryo gut entwickelt in Kopf, Rumpf und Schwanz; links neben dem Schwanze ist das grosse, etwa $^1/_5$ betragende Extraovat noch in Verbindung mit dem Hinterleibe und verdrängt die Schwanzspitze nach rechts. Austritt braun mit gefurchtem Materiale überzogen. Der Schwanz selber hat links nahe seiner Spitze eine circumscript hervortretende Geschwulst.

Vier Embryonen sind anscheinend ganz normal, zwei davon bis zur Berührung von Kopf und Schwanz nach links gebogen.

In einer anderen Glasschale wurden 26 Eier gleichfalls nach 19 Stunden angestochen, welche aber behufs anderer Beobachtungen die ersten drei Tage in Zwangslage fixirt waren; sie waren indes derart aufgesetzt, dass die Eiachse ziemlich in normalem Grade geneigt stand; fraglich musste bloss bleiben, ob die Neigung auch

nach der richtigen, der inneren Anordnung der specifisch ungleich schweren Eitheile entsprechenden Seite erfolgt war.

1. (Nr. 106.) Erste Furche stand quer zur Symmetrieebene der Einstellung des Pigmentes. Anstich in der Mitte des oberen Poles. Embryo ohne sichtbaren Defect, dorsale Theile an Kopf, Rumpf und Schwanz gut angelegt, aber ventral eine grosse Aufblähung, welche den ganzen Embryo deformirt und rückwärts concav biegt.

2. (Nr. 107.) Erste Furche steht wiederum quer, Anstich oben in der Mitte des schwarz-weissen Saumes, also an der Stelle der Anlage des Urmundes. Embryo: Kopfanlage sehr undeutlich gegliedert, Lordose bis zur Berührung von Kopf- und Schwanzanlage, Medullarrohr in der Mitte mit einem grossen Defect. Extraovat gross, vielleicht $1/7$ des ganzen Eies betragend, gefurcht, unregelmässig mit braunem intercellulärem Pigment bedeckt.

3. (Nr. 108.) Anstich in der Nähe des Randes der oberen Hemisphäre, Extraovat so gross wie in Nr. 107 und ebenso beschaffen. Embryo etwas weiter entwickelt als Nr. 107, aber mit ebenso gelegenem Defect und gleicher Lordose.

4. (Nr. 109.) Anstich neben der Mitte des oberen Poles. Genauere Angabe über die Lage der Anstichstelle ist in dieser Serie oft nicht möglich, da bei Zwangslage die Pigmentvertheilung eine zu unregelmässige wird und auch die zweite Furche oft zuerst auftritt. Medullarrohr geschlossen, Kopf gut modellirt, Embryo nach rechts gebogen; neben der kleinen Schwanzanlage ist rechts ein kleiner Defect der Oberflächenschicht; Rumpf im Verhältniss zum Kopf auffallend zu kurz. Extraovat etwa $1/6$ des Eies betragend, gefurcht, pigmentirt.

5. (Nr. 110.) Extraovat sehr gross, fast $1/4$ des Eies betragend, gefurcht. Embryo: Kopf gut angelegt, ebenso Schwanzanlage vorhanden, Lordose bis zur Berührung beider; Rumpf dorsal so verkürzt, dass sich zwischen Kopf- und Schwanzanlage nur ein sehr kleines Stück Medullarrohr findet. Dieses Stück ist seitlich verbreitert aber anscheinend geschlossen und bietet nur rechts noch eine kleine weisse Stelle dar (Defect).

6. (Nr. 111.) Blastula am Rande angestochen. Embryo: Medullarrohr in ganzer Ausdehnung offen geblieben, gleichwohl

Kopftheil durch weitere Gliederung vorn und an den Seiten kenntlich, Leib nach rechts verbogen und wie narbig eingezogen.

7. (Nr. 112.) Neben der Mitte des oberen Poles angestochen. Austritt etwa 1/9 des Eies betragend, gefurcht. Embryo: lordotisch gekrümmt, Medullarrohr ganz offen, mit Verbreiterung an der Stelle der Concavität und daselbst ein Defect, durch welchen die weisse Substanz noch sichtbar ist; Kopf vorn und an den Seiten schon etwas mehr gegliedert als in Nr. 111.

8. (Nr. 121.) Anstich ganz am Rande. Extraovat etwa 1/4 der Masse des Embryo erreichend, haftet noch mit ziemlich breitem kurzem Verbindungsstrang rechts neben und unter dem Schwanze und besteht offenbar vorwiegend aus Dottermaterial, etwas über die Hälfte desselben darstellend. Embryo sonst normal entwickelt, weiter als alle vorhergehenden dieser Serie, nur der Schwanz durch das Extraovat nach links abgeknickt.

9. (Nr. 122.) Anstich an der Stelle der späteren Anlage des Urmundes (?); Extraovat sehr gering, dunkelbraun, gefurcht. Embryo anscheinend vollkommen normal im Stadium des Ausschlüpfens.

10. (Nr. 123.) Desgleichen in Anstich und Effect.

11. (Nr. 124.) Erste Furche steht quer. Anstich rechts neben der zweiten (physiologisch aber ersten, d. h. die Medianebene bestimmenden) Furche, fast in der Mitte der oberen Hemisphäre. Embryo im Ganzen normal, aber mit assymmetrischer Entwicklung des Kopfes.

12. (Nr. 138.) Erste Furche quer. Anstich dicht hinter derselben etwas links von der präsumptiven Medianebene. Embryo wohlgegliedert im dorsalen Theil, mit langem Schwanz. Gesichtstheil des Kopfes fehlt fast ganz und zeigt zahlreiche weisse kleine Auswüchse. Hinterer Theil des Rumpfes ohne Dotter; letzterer hängt als runder Klumpen ventral an der Halsgegend.

Ausserdem finden sich noch acht Embryonen von im Allgemeinen normaler Bildung entsprechend einer Entwicklung von 6 Tagen vor; davon hat einer einen verschrumpften Kopf, drei haben Hydrops der ventralen Halsgegend. Das Extraovat war bei einigen dunkelbraun, bei anderen hell.

Aus den Versuchen dieser Serie ergibt sich also, dass auch beim Anstechen in einem sehr späten Furchungsstadium noch circumscripte Defecte am Embryo die Folge von Substanzaustritten sein können; aber sie waren auffallenderweise relativ seltener als bei den gleichen Eingriffen in früheren Stadien, während man doch eher erwarten sollte, dass sie immer sicherer eintreten würden. Es lassen sich indes auch dafür schon verschiedene Gründe denken; vielleicht ist das Material des Ektoblast schon zäher, fester unter sich vereinigt, und bloss das Dottermaterial ist noch locker genug, um in reichlicherer Menge durch den Stichkanal auszutreten; eine Auffassung, welche durch die Versuche an den späteren Stadien eine grössere Wahrscheinlichkeit erhält.

Die Ergebnisse dieser vorstehend mitgetheilten Anstechversuche am Froschei vor und während der Furchung lassen trotz der Unvollständigkeit der letzteren doch schon einige Folgerungen ableiten, welche uns bedeutsame Fingerzeige über die Beschaffenheit des Eies und die Art der ersten Entwicklungsvorgänge desselben geben. Wir erhielten als Allgemeinstes das Resultat, dass nicht alles Keimmaterial unerlässlich nöthig für die Entwicklung ist, eine Folgerung, welche indes auch schon aus einem fast als normal zu bezeichnenden Vorkommniss sich ergibt. Beim Verschlusse des Urmundes wird nämlich sehr häufig ein kleiner, manchmal auch ein recht ansehnlicher Theil des weissen gefurchten Keimmaterials abgeschnürt und so von der Betheiligung an der Bildung des Embryo ausgeschlossen, ohne dass diese selber dadurch erkennbar alterirt würde. In diesem letzteren Falle werden aber bestimmt gelagerte weisse und wohl nur als Nahrungsdotter zu verwendende Theile entfernt, während in unseren Versuchen aus verschiedenen Gegenden des Eies fein- und grobkörniges, schwarzes und weisses Material ohne erkennbaren Nachtheil dem Entwicklungsprocess entzogen wurde.

Weiterhin haben wir gesehen, dass das befruchtete Ei durch unsere mechanischen, die grosse Massenanordnung störenden Eingriffe nicht zu einer ganz abnormen Thätigkeit veranlasst worden ist. Vor Beginn der Versuche hatte ich daran gedacht, dass durch dieselben vielleicht einige Unordnung unter den Organen entstehen

könne, oder dass sogar ganz heterogene wunderbare, nicht auf einfache Weise von den Störungen ableitbare Formbildungen die Folge der Eingriffe sein würden. Dass nichts Derartiges geschehen ist, ist hochbedeutsam; doch sind die Versuche noch zu unvollständig, um diese Bedeutung mit Bestimmtheit formuliren zu lassen.

Statt so allgemeiner Wirkung der Störung ergab sich vielmehr, dass die circumscripten Defecte der Eisubstanz häufig circumscripte Defecte oder circumscripte Verbildungen an dem sonst wohlgestalteten Embryo zur Folge hatten; zweitens zeigte sich, dass wesentlich derselbe Effect entstand, einerlei in welchem Stadium der Furchung die Verletzung vorgenommen war, dass also die Eingriffe in den früheren Perioden der Entwicklung nicht allgemeinere, auffallend grössere Bezirke des Embryo afficirende und in stärkerem Maasse von der normalen Bildung abweichende Folgen hervorbrachten als die gleichen Eingriffe in späteren Stadien der Furchung; wiederum zwei für die Auffassung der Entwicklungsvorgänge hochbedeutsame Thatsachen.

Die bisherigen Resultate der Anstechung vor der Furchung und nach dem Beginne derselben weichen insofern von einander ab, als im ersteren Falle keine Defecte in der schwarzen Oberflächenschicht, sondern bloss das Ausbleiben der Bildung einzelner Theile aus derselben bei ununterbrochener Continuität des äusseren Ektodermstratums zu beobachten war; einige Male wurde dasselbe auch im zweiten Falle beobachtet. Grössere Versuchsreihen an vor der Theilung verletzten Eiern müssen erst feststellen, ob dies ein dieser Periode constant zukommendes Merkmal ist, oder ob nicht auch circumscripte Defecte in der Continuität des Ektoderm vorkommen können.

Man wird vielleicht geneigt sein, aus den Versuchsergebnissen auch schon speciellere Schlüsse, besonders über die eventuelle Verschiedenheit und über die Localisation des Keimmateriales im Eie, sowie über Selbstdifferenzirung der Eitheile zu ziehen; doch würden diese Folgerungen zur Zeit verfrüht sein und müssten gewärtigen, durch die weiteren Versuche widerlegt zu werden. Ich behalte mir daher die Entscheidung nach diesen Richtungen hin vor, bis ich einerseits die Ursache des häufigen Ausbleibens jedes

Defectes am Embryo sicher ermittelt habe, und bis andererseits die Methode der Localisation so verbessert ist, dass die Resultate der Wiederholung desselben Eingriffes constant geworden sind und es sich darnach verlohnt, die künstlichen Missbildungen genau mikroskopisch zu untersuchen und so alle Alterationen der Entwicklung, nicht bloss die äusserlich sichtbaren festzustellen.

Die so gewonnene Möglichkeit, eine bestimmte Stelle am Eie auf eine circumscripte Stelle am Embryo zu beziehen, verspricht, uns manche genauere Auskunft über die Bildungsvorgänge selber gewinnen zu lassen. Gegenwärtig sei bloss auf die Bedeutung der Erscheinung hingewiesen, dass nach dem Anstechen des Eies in der ersten Furchungsebene am oberen schwarzweissen Saum, also an der Stelle der Anlage des künftigen Urmundes, der Defect am Embryo immer dicht hinter der Mitte des primitiven Medullarrohres sich fand, während der aboral davon liegende Abschnitt des Rohres, ebenso wie der orale Theil normal waren. Dies weist wohl darauf hin, dass der hintere Theil des Medullarrohres auf der weissen Hemisphäre gebildet wird, und dass dies durch Vorwachsen der dorsalen Urmundslippe gegen die ventrale hin geschieht, wie dies schon Pflüger[1]) zufolge seiner Beobachtung der Wanderung des Urmundes angenommen hat. Denn wenn man annehmen wollte, dass nur die äussere und die dorsale Umgebung des Urmundes wüchse und dadurch allein der dorsale Rand des Urmundes passiv nach hinten also ventral verschoben würde, so würde auch die Defectstelle mitverschoben werden. Eine solche Verschiebung findet nach O. Hertwig's Angaben über die Verdünnung des Ektoblast in gewissem Grade statt; darüber geben meine bisherigen Versuche keine Auskunft, da keine Vorkehrungen getroffen wurden, um dies festzustellen. Jedenfalls aber ist hinter der Anstichstelle in der Gegend der ersten Anlage des Urmundes viel Ektoblast neu entstanden, und ich will dasselbe entsprechend seiner besonderen genetischen Bedeutung mit einem besonderen Namen belegen und als hinteres Medullarfeld bezeichnen; da mit

1) E. Pflüger, Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen und auf die Entwicklung des Embryo. Zweite Abhandlung. Pflüger's Archiv Bd. 32 S. 39.

der Anlage des Urmundes hier eine Furche entsteht, welche selber nach hinten rückt, so muss das hinter der Anstichstelle neu gebildete Gewebe aus Material gebildet werden, welches vorher die Wandung dieser Furche dargestellt hat. Die Furche ist die Oeffnung der Urdarmhöhle und ihre Wandung besteht aus einem dem Saum derselben nächsten Theile, dem Entoblast, und dem dem Saum abgewendeten Theile, dem Dotterlager.

[Letzteres dem Entoblast selber zuzurechnen, weil es mit ihm continuirlich zusammenhängt, wie O. Hertwig thut[1]), scheint mir, functionell betrachtet, nicht ohne weiteres zulässig. Sofern bei Substanzverlusten bloss der Oberflächenschicht des weissen Poles constant sich Defecte in der Wandung der Urdarmhöhle ergeben sollten, woraus hervorgehen würde, dass das an der unteren Eioberfläche gelegene Material das Entoblast liefert, so würde ich das nach innen davon gelegene Dottermaterial nur dann zum Entoblast rechnen, wenn auch nach Austritt dieses Materials solche Defecte entstünden. Ich erwähne dies hier nur, um anzudeuten, wie meine Methode uns vielleicht zu weiteren, über die Leistungsfähigkeit der descriptiven Methode hinausführenden Unterscheidungen zu führen vermag.]

Es entsteht nun die Frage, woher das Material für den hinteren Theil des Medullarrohres, für das hintere Medullarfeld, stammt, ob von der weissen Oberflächenschicht, also von dem Entoblast, oder von dem ihm anliegenden Dottermaterial. Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Forschung wird man natürlich das Letztere anzunehmen geneigt sein, und man wird vermuthen, dass die von O. Hertwig aufgezeigte Vegetationszone am inneren Saum des Urmundes das Dottermaterial verarbeitet und nach aussen neues Ektoblast, nach innen neues Entoblast liefert, welche beiden dann gemeinsam den Dotterpfropf in dorsoventraler Richtung und zugleich von den Seiten her convergirend allmählich überdecken und so den Urmund verkleinern. Zugleich wird es fraglich, wie weit neben diesem Modus der Gastrulabildung durch Ueberwucherung der unteren Fläche der Blastula von dem dorsalen Seitenrande des Eies her noch eine active Einstülpung des Entoblast stattfindet; nach

1) O. Hertwig, die Entwicklung des mittleren Keimblattes der Wirbelthiere 1881 S. 26.

den Abbildungen O. Hertwig's (l. cit. Taf. II Fig. 1—5) zu urtheilen, brauchte sie nur minimal zu sein. Eine Einstülpung des Ektoblast zur Bildung der Urdarmhöhle dagegen kann durch die von mir beobachtete Thatsache wohl als widerlegt betrachtet werden.

Bezüglich der Entstehung des hinteren Medullarfeldes ist ausser der Bildung von der Vegetationszone am Rande der dorsalen und lateralen Urmundslippe aus, auch noch die Zusammenschiebung des Ektoblast von den beiden Seiten her als eine Möglichkeit zu erwähnen; doch würde dann wohl die dorsale Lippe einen weniger reinen Bogen darstellen, sondern am Rande einen medianen Einschnitt und im Verlaufe eine Raphe zeigen.

Ueber die Bedeutung der Thatsache, dass nach dem Anstechen am weissen Pole des Eies Defecte in dem Ektoderm des Hinterleibes entstanden sind, hoffe ich gleichfalls nach Verbesserung der Methode in Bezug auf genaue Localisation des Extraovates Aufklärung gewinnen zu können, desgleichen über die Quellen des Materiales des mittleren Keimblattes.

Der Befund, dass die dorsale Stelle des schwarz-weissen Saumes am Eie fast der Mitte des Medullarrohres des Embryo entspricht, gibt mir ausserdem Veranlassung, meine früher ausgesprochene Ansicht über die Bedeutung der zweiten Furche[1]) genauer zu präcisiren und damit zugleich quantitativ zu modificiren. Nach dem Nachweise, dass die erste Furche die künftige Medianebene des Embryo bestimmt, beobachtete ich weiterhin bei Rana esculenta, dass die zweite Furche derart excentrisch sich bildet, dass sie dem oben an einer Seite der braunen oberen Hemisphäre sichtbar werdenden weissen Saum genähert ist. An dieser bei Rana esculenta somit doppelt bestimmten Seite entstand stets der Urmund, von da aus entwickelte sich nach aufwärts der Kopftheil, so dass also zur Zeit der zweiten Furche schon über die Richtung kopf-schwanzwärts entschieden ist. Da wir nun aber gesehen haben, dass die Anlagestelle des Urmundes an der Seite des Eies fast der Mitte des primitiven Medullarrohres entspricht, während letzteres sich auf der weissen Hemisphäre noch weiter nach abwärts entwickelt, so erhellt, dass

1) W. Roux, Ueber die Zeit der Bestimmung der Hauptrichtungen des Froschembryo. Leipzig 1883.

es richtiger ist zu sagen: mit der zweiten Furche ist schon über die Lage der „dorso-ventralen Richtung" am Froscheie erkennbar entschieden, während die Richtung „kopf-schwanzwärts" schon am unbefruchteten Froscheie durch die Richtung von oben nach unten annähernd gegeben ist. Als ich im vorigen Jahre diese Verhältnisse untersuchte, galt die Eiachse als die dorsoventrale Achse des Embryo; und da sich auch später der Embryo, wenn er nicht in Zwangslage erhalten wird, dem entsprechend situirt zeigt, so war zunächst keine Veranlassung, an der Richtigkeit dieser überkommenen Auffassung zu zweifeln. Demnach fehlte nach der Bestimmung der Medianebene durch die erste Theilung bloss noch die Entscheidung über kopf-schwanzwärts innerhalb dieser Ebene. Nachdem wir nun aber gesehen haben, dass die Eiachse mehr der Längsachse des Embryo entspricht, muss nunmehr der Embryo im Verhältniss zum Eie gegen die frühere Auffassung um einen rechten Winkel gedreht werden, und die noch nicht bestimmte Richtung wird so die dorsoventrale. Ob diese Bestimmung wirklich erst mit der zweiten Furche geschieht, ob sie sogar gerade durch die zweite Theilung geschieht und unabänderlich durch dieselbe fixirt ist, oder ob pathologische Eingriffe noch nachträglich eine Aenderung ihrer Lage im Verhältniss zum ganzen Eie hervorzubringen vermögen, wird in dem dritten Beitrage erörtert. Ich will nicht unterlassen besonders hervorzuheben, dass mit dieser gegenwärtigen Bestimmung der annähernd senkrechten Stellung der Längsachse des Embryo im Eie nicht ausgedrückt ist, dass die zweite Furche etwa der mittleren Frontalebene des späteren Embryo entspräche und dem entsprechend das Keimmaterial derart sondere, dass die beiden dorsalen Zellen wirklich allein das Material für das ganze Medullarrohr liefern. Besondere Untersuchungen haben darüber erst zu entscheiden und festzustellen, ob nicht der vorderste Theil des Medullarrohres noch im Bereich der oberen, der hinterste Theil desselben noch im Bereich der unteren Kuppe der beiden ventralen Zellen entsteht. Die dritte Furche des Froscheies scheidet demnach das Material für den kopfwärts gelegenen Theil von dem für den hinteren Theil des Embryo.

Für die Function der ersten Furche, das Material der beiden Antimeren zu scheiden, glaube ich in dem erwähnten Hemicormus lateralis, welcher beim Anstechen nach der vierten Furche entstand, einen schönen Beweis zu finden; da der vorhandene Defect genau der Grenze der ausgebildetep Antimere folgte. Die Erklärung ergibt sich daraus, dass zur Zeit der vierten Furche die zuerst entstandene Furche jedenfalls am vollkommensten ausgebildet ist, so dass nach dem Anstechen der einen Eihälfte beim Austreten von Eisubstanz keine schon differenzirte Bildungssubstanz aus der anderen Hälfte mehr nachfliessen konnte, während aus der verletzten Zelle fast das ganze der Furche benachbarte Material austrat. Ich werde es mir angelegen sein lassen, den Antheil ausgetretener Kernsubstanz an der Entstehung der Defecte festzustellen.

Um gleich einen Ueberblick über die ungefähren Folgen der Verletzung des Eies aüch in späteren Phasen der Entwicklung zu gewinnen, habe ich noch einige ähnliche Versuche an älteren Embryonen gemacht.

Operationen an der Gastrula.

Fünf Gastrulae von Rana fusca mit noch offenem Urmund wurden an dem schwarzen Theile angestochen: Zwei Eier, bei denen nur sehr wenig schwarz und weiss gefärbte Masse ausgetreten war, bildeten die Rückenwülste, das eine normal, das andere aber mit einem circumscripten Defect in der schwarzen Schicht des Kopftheiles; beide aber stellten darnach die Entwicklung ein. Die drei anderen Eier hatten viel weisse Masse, bestehend aus Zellen, wohl vorwiegend des Dotterlagers, austreten lassen und entwickelten sich nicht weiter. Dasselbe war bei den am Dottertheil selber angestochenen Eiern der Fall.

Da ohne Verletzung des Dotterlagers beim Anstechen der Gastrula der Substanzaustritt sehr gering und die Wunde an sich nur sehr klein war, so wurden nun grössere Schnittwunden mit einer Lanzette gemacht, zuerst bloss um die Widerstandsfähigheit zu prüfen, dann, als sich dieselbe genügend gross erwiesen hatte, um die Wirkung der Continuitätstrennung, sowie der bei der Operation oft entstehenden groben passiven Deformation auf die weitere Entwicklung kennen zu lernen.

Fünf Gastrulae von Rana fusca, von welchen jede an einer anderen Stelle in geringer Ausdehnung gespalten worden war, haben alle die Rückenfurche gebildet; zwei davon haben sich normal weiter entwickelt und sind erst nach Anlage der Kiemenhöcker aufgehoben worden. Die drei anderen gingen ohne weitere Entwicklung zu Grunde. Von einigen in der Entwicklung schon um einen Tag zurückgebliebenen Gastrulae, welche in gleicher Weise operirt waren, hat nur eine die Rückenfurche angelegt, ist aber darnach gleich den anderen abgestorben.

Von den passiven Deformationen, glaubte ich früher, vielleicht einen besonderen Einfluss zu gewärtigen zu haben, denn ich hatte mir vorgestellt, dass das Ei, da es eine bestimmte Form hervorbringt, auch umgekehrt vielleicht dieser bestimmten Form für seine blosse Erhaltung wie für seine Weiterentwicklung benöthige; ich dachte, dass der Embryo vielleicht in den frühesten Phasen ein aus der Lagerung aller Theile zu einander resultirendes, auf geheimnissvolle Weise vermitteltes, formales Gesammtleben führe, dessen Alteration an einer Stelle, wenn nicht gleich das Leben ganz aufhebe, so doch gleich die Bildung an allen oder fast allen Stellen, nicht bloss innerhalb der unmittelbaren Nachbarschaft, in ganz abweichende Bahnen zu lenken vermöge. Es war also die Vorstellung, dass die embryonale Form der frühesten Stadien nicht bloss eine gewordene sei, nicht bloss eine Summe, ein geformtes Nebeneinander von im Wesentlichen selbständigen, d. h. selbsterhaltungs- und selbstdifferenzirungsfähigen Theilen darstelle, welche Summe zufolge der den Theilen innewohnenden Eigenschaften und zufolge der auf dem früheren Stadium erlangten Form einfach mechanisch sich weiter forme; sondern, dass, indem die Lebensfähigkeit des Embryo aus der Gesammtanordnung aller Theile resultire, der Form an sich eine wesentliche functionelle Bedeutung auch für die bloss momentane Erhaltung des von dem späteren Leben wesentlich verschiedenen Embryonallebens zukomme, und dass dies bereits in einer Periode der Fall sei, wo die Theile noch nicht zu einzelnen Organen, welche bestimmte, den späteren Functionen vergleichbare Leistungen für das Ganze zu vollziehen haben, differenzirt sind. Ich bin überzeugt, dass manchem meiner Leser diese Vorstellung

ebenso mystisch wie von vornherein unwahrscheinlich erscheinen wird. Indes, wenn man vor einem geschlossenen Complex unbekannter Probleme steht, ist es schwer zu sagen, was wahrscheinlich, was unwahrscheinlich ist. Es ist nicht von vornherein zurückzuweisen, dass in der Complication der Verhältnisse während der embryonalen Entwicklung, wo wir Leistungen vor sich gehen sehen, die sonst in ähnlicher Weise in der Natur nicht vorkommen und von uns leider auch nicht künstlich nachgemacht werden können, dass da auch besondere Arten von Energien entstehen, für welche ausserhalb dieser Processe und auch selbst in dem späteren functionellen Leben des Individuums, ausser bei der Regeneration, keine Gelegenheit mehr gegeben ist; Energien, welche ebenso sehr in ihren Wirkungen von den uns zur Zeit bekannten Arten der Energie verschieden sind, wie es die Elektricität von den übrigen Energien ist; und die Elektricität ist lange genug unbekannt geblieben, obgleich ihre Erzeugungsbedingungen relativ einfache sind. Wer nicht blind das, was als höchstes Resultat unserer Untersuchungen erst gewonnen werden muss, in Form der allerdings sehr gebräuchlichen petitio principii als selbstverständlich und keines Beweises bedürftig von vornherein annimmt, der wird sich bei den causalen Untersuchungen der embryonalen Entwicklung immer unsere Eventualität vor Augen zu halten und sich zu fragen haben, ob die von ihm beobachteten Vorgänge sich unter die Leistungen bekannter Kraftformen subsummiren lassen, oder ob sie zur Annahme besonderer Wirkungsweisen, wie differenzirender Fernwirkungen u. dergl., und damit zur Annahme besonderer Energien nöthigen.

Da es uns überhaupt nicht um Wahrscheinlichkeit, sondern um dereinstige Gewissheit zu thun ist, ist es gut, das Gebiet der Möglichkeiten möglichst in Gedanken zu erschöpfen, um so die Augen für alle eventuellen Vorkommnisse zu öffnen; denn bekanntlich ist es mit dem Sehen wie mit dem Hören; es nimmt auch mit den Augen jeder bloss das wahr, was er versteht und wie er es versteht. Wir werden aber erkennen, dass wir weder auf Grund der Lehre von den Missbildungen, noch auf Grund der von uns angestellten Experimente obige Vorstellung schon jetzt als durchaus irrthümlich zurückweisen können, wenngleich ich hoffe, dass

es durch die weiteren Untersuchungen mehr und mehr geschehen wird. In der Einschränkung dieser Möglichkeit liegt für mich der eigentliche Werth der in diesem Beitrage bisher mitgetheilten und noch mitzutheilenden Versuche; denn damit wird unserer Erforschung des Lebens ein immer weiteres Feld eröffnet, und bloss aus diesem Grunde schienen sie mir schon jetzt der Veröffentlichung werth, obgleich sie an sicheren speciellen Ergebnissen, welchen sich wohl vorzugsweise das Interesse der Mehrzahl der gegenwärtigen Leser zuwenden wird, nur erst wenig bieten.

Schon bei den blossen Anstechversuchen während der Furchung war die Prüfung dieser Eventualität mit ins Auge gefasst, denn das Eindringen mit der Nadel und der Austritt von Substanz musste die Anordnung der zurückbleibenden Theile erheblich stören. Nachdem durch diese Versuche erkannt war, dass in dem Stadium der Furchung eine solche Störung der Ordnung keine Alteration der allgemeinen Entwicklung hervorzubringen vermag, sollte dasselbe nun auch geprüpft werden, nachdem zum ersten Male eine specifische Makrostructur ausgebildet war und damit die besonderen gestaltenden Kräfte des Eies ihre formenschaffende Thätigkeit in erkennbarer Weise begonnen hatten. Da Versuche mit blosser Deformation des noch innerhalb der Gallerthülle befindlichen Embryo nicht recht gelangen, so musste die Deformation durch ausgedehnte Spaltung hervorgebracht werden, wobei aber die Wirkung der Verletzung und der mit ihr eventuell verbundenen Entspannung die Deutung der Resultate erschweren konnten.

Ich brachte daher 17 Gastrulae (Nr. 160) von Rana esculenta je einen grossen, mehr als einen halben Eiumfang betragenden Schnitt bei, wobei passive Deformationen entstanden, die in vielen Fällen nicht sogleich durch die Elasticität der übrig bleibenden Substanzbrücke wieder ausgeglichen wurden. In drei Fällen wurde die Gegend der künftigen Rückenfurche quer durchschnitten, einmal mehr oral, dann in der Mitte, beim letzten mehr aboral; alle drei Eier bildeten die Medullarfurche und die dieselbe begrenzenden Rückenwülste mit fast vollkommen normaler Gestalt; und die Rückenwülste waren bis dicht an die Wundränder heran entwickelt. Sogar das beim

letzten Eie fast ganz abgetrennt gewesene niedrige Stück des hintersten Körperendes hat seine Rückenwülste gebildet und dieselben schon bis zur Berührung genähert; es ist durch eine dichte Lage weisser Masse mit dem vorderen Stücke vereinigt resp. noch von ihm getrennt, während bei den beiden anderen Embryonen die Coaptation eine noch vollkommenere ist. Dreimal stand der Schnitt schräg zur Medullarfurche; gleichwohl sind wiederum die Rückenwülste bis zur Wunde ausgebildet, aber die Medullarfurche etwas verzogen, bei einem Embryo durch radiäre strahlige Narbencontraction in höherem Maasse.

Ein Embryo hat eine normale Medullarfurche gebildet, obgleich ihm von hinten her in frontaler Richtung der halbe Leib durchspalten ist; sogar schon die Haftnapfanlage ist vorn erkennbar. Ein anderer Embryo hat bloss den linken Rückenwulst und vorn und hinten einen sehr kleinen Theil des rechten; die Gegend des übrigen Theiles rechterseits ist durch einen grossen, weit klaffenden schrägen Spalt eingenommen, welcher auch noch ein wenig in die mediale Seite des linken Rückenwulstes sich fortsetzt, der trotzdem aber an der betreffenden Stelle sich aussen mit fast normaler Form vom Leibe abhebt.

Ein anderer Embryo mit vollkommener Rückenfurche ist quer am ganzen Leib gespalten bis beiderseits zu den wohlgebildeten Rückenwülsten; die Wunde ist auf der einen Seite des Leibes noch offen; auf der andern Seite ist das Pigment dicht auf einer verschrumpften Stelle um die fast geschlossene Wunde angesammelt; der ganze Embryo kugelig statt länglich.

Fünf Gastrulae haben sich um die grosse noch weit geöffnete und durch weisse Masse ausgefüllte Wunde zusammen gewölbt, ohne Anlage von Medullarfurchen erkennen zu lassen; einmal unter strahliger Narbenbildung. Ein Ei hat etwas wie eine verzerrte Medullarfurche gebildet, ein anderes war zweimal quer zur künftigen Rückenfurche fast rings herum durchschnitten und lässt gleichwohl einen schwachen aber nicht recht gelungenen Versuch zur Bildung von Rückenwülsten erkennen.

Die Eier zeigten am Tage nach der Operation in der Umgebung der Wunde bereits Anfänge von Framboisia minor, weshalb sie alle

conservirt wurden; erst nach Entfernung der Gallerthülle wurde erkannt, dass zwei der ersterwähnten Embryonen mit normaler Rückenfurche, noch vollkommen glatte Oberfläche besassen. Aber warum waren die anderen abgestorben, da doch eine Infection nicht erfolgt war?

Das letzte Ei endlich zeigt allein eine Bildung, welche auf Lenkung fast der Gesammtheit der bildenden Kräfte in andere Bahnen gedeutet werden kann. Der Urmund ist noch weit offen und normal gerundet, aber der übrige Theil der Gastrula zeigt eine reiche Anzahl verschieden gerichteter und durch tiefe Einziehungen geschiedener Wulstbildungen, von denen mehrere paarweise einander parallel sind, sodass sich nicht ein Paar bestimmt als Rückenwülste erkennen lässt. Die Verwundungsstelle ist nicht mit Sicherheit auffindbar; das Ei ist im Ganzen klein und es liegt die Vermuthung nahe, dass sehr viel Dottermaterial ausgetreten ist und in Folge dieser Verkleinerung des Inhaltes die Oberfläche sich gefaltet hat. Doch ist das ganze Gebilde zugleich so in der Richtung vom Urmund aus verlängert und gebogen, und die Wülste sind so dick und prominent, dass ich sie nach dem, was ich sonst an zugleich mit grossen Verletzungen von Gastrulae entstehenden passiven Faltenbildungen gesehen habe, nicht rein als solche aufzufassen wage. Ich glaube vielmehr, dass dieser mechanischen Tendenz zur Wulstbildung noch durch vitale Vorgänge Vorschub geleistet worden ist; und weiter hinten werden Beobachtungen mitgetheilt werden, welche die Art dieser Unterstützung mechanischer Bildungstendenzen genauer charakterisiren. Nicht aber glaube ich, dass dieses eine, allen anderen isolirt gegenüberstehende Vorkommniss uns zwingt, dasselbe im Sinne der oben ausgesprochenen Eventualität aufzufassen und anzunehmen, dass durch die locale Störung der Gastrula ein formales Gesammtleben derselben in neue, aber in sich selbständige, nicht von bloss mechanischen Umformungstendenzen abhängige Bahnen gelenkt worden sei.

Vielmehr glaube ich, dass das Verhalten der 16 anderen Embryonen, insbesondere der ersten 8 Embryonen, eher für eine entgegengesetzte Auffassung spricht und sich damit an die Folgerungen anschliesst, welche man aus einigen bekannten Missbildungen zu

ziehen sich geneigt fühlt, besonders aus dem Schistosomus reflexus, in welchem trotz der Umstülpung der ganzen Leibeswandungen nach hinten, alle Theile angelegt sind und in ihrer Formabweichung sich einfach aus der, selber auf eine einheitliche Ursache zurückführbaren, Gesammtdeformation ableiten lassen. Darnach würde die normale Entwicklung der Gastrula weniger an ein System bestimmter Richtungen in der Lagerung entfernter Theile zu einander, sondern an die Continuität und Lagerung nächst benachbarter Theile gebunden sein. Die weiteren Versuche werden sogar darauf hindeuten, dass auch nach Aufhebung dieser letzteren Bedingungen noch eine gewisse Weiterentwicklung möglich ist, dass also ein gewisses Selbstdifferenzirungsvermögen der Theile wenigstens eine Strecke weit besteht. Aber wir werden auch noch manchem Embryo begegnen, dessen abnorme Gestalt gegenwärtig nicht mit Sicherheit bloss auf die mechanisch vermittelten Folgen der Verletzung zurückführbar ist.

Bei mehreren Gastrulae von Rana fusca wurde neben dem noch offenen Urmund, concentrisch mit demselben die Gegend der künftigen Medullarwülste quer durchschnitten, um die eventuelle Alteration in der Bildung dieser und in der Ausbildung der Chorda und des mittleren Keimblattes zu studiren. Aber die Entwicklung wurde an den wenigen bis jetzt in dieser Weise operirten Eiern zu früh gehemmt, um nach diesen Richtungen hin Beobachtungen zu gestatten. Eine Gastrula aber scheint den Urmund noch etwas verengt zu haben; die andere bildete einen schneppenförmigen Ansatz als Anlage der Medullarwülste. [NB. Es waren Ranae fuscae aus Königsberg, welche ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Prof. Langendorff verdanke. Diese begannen alle die Anlage des Medullarrohres gleich denen des Canton Wallis[1]) nach dem von den Fischen her überkommenen phylogenetisch älteren Typus am Urmund selber, während die Ranae fuscae der hiesigen Gegend, wie nach O. Hertwig auch die der Umgebung von Jena, zuerst den queren Gehirnwulst mit den vorderen Enden der Medullarwülste an ungefähr der bleibenden Stelle desselben bilden.] Tags darauf

1) W. Roux, Ueber die Zeit der Bestimmung der Hauptrichtungen des Froschembryo 1883 S. 20.

befanden sich alle Eier im Zustande der Framboisia minor und der Urmund war durch Anfüllung seiner Grenzfurche mit schwarzen Zellen ausgeglichen.

Um zu erkennen, ob fast ganz von ihrer normalen Umgebung losgelöste Theile sich noch weiter differenziren können, wurden an sieben Gastrulae mit geschlossenem Urmund grosse Zungenlappen von etwa einem Drittel einer halben Eioberfläche ausgeschnitten. Vier der Eier entwickelten sich weiter, und bildeten die Rückenwülste. Ein Embryo zeigte anderen Tages nur noch in der Mitte der Medullarfurche ein tiefes, in seinem Grunde durch weisse Substanz verschlossenes Loch, welches enger wurde, während sich der vordere Theil des Medullarrohres schloss. Ein anderer Embryo zeigte anderen Tages nur noch einen schmalen noch klaffenden Spalt in der Medullarfurche, und das Medullarrohr schloss sich weiterhin vollkommen und nichts Abnormes war bemerkbar. Von einem dritten Embryo ist nur notirt, dass er ein Anhängsel im Gesichtstheil gehabt hat. Die Bildung der Rückenfurche war also über Nacht auch im Bereiche der Zungenlappen vor sich gegangen; aber die zu rasche Wiedervereinigung mit der Nachbarschaft lässt bezüglich der Selbstdifferenzirung noch keinen sicheren Schluss zu.

Ausserdem wurde an drei Gastrulae von Rana esculenta noch die nach meiner Regel über die Bedeutung der ersten Furche im Voraus bestimmte Stelle der künftigen Medullarfurche der Länge nach gespalten, um den Effect dieses Eingriffes kennen zu lernen, insbesondere um die Behauptungen Ahlfeldt's und L. Gerlach's zu prüfen, dass die Doppelbildungen erst zur Zeit der Anlage der Rückenfurche durch eine die weitere Bildung trennende Ursache entstehen könnten.

Die erste so behandelte Gastrula (Nr. 127), an welcher bloss der mittlere Theil der Länge der künftigen Medullarfurche aufgeschlitzt war, wurde schon 12 Stunden nach der Operation aus der Gallerthülle genommen, weil sie hinter den anderen zurückgeblieben zu sein schien. Sie zeigte sich gleichwohl bei der unverhüllten Ansicht erheblich weiter entwickelt. Der vordere Theil des linken Medullarwulstes und der quere Gehirnwulst sind angelegt, aber etwas deform;

weiter aboral findet sich statt der Medullarfurche ein dunkelbrauner Ring um eine helle Stelle, innerhalb deren ein schmaler Schlitz in der hellbraunen Oberflächenschicht sichtbar ist. Der Embryo ist ventral stark aufgebläht, der Urmund geschlossen.

(Nr. 126.) Die gleiche Operation. Embryo anderen Tages etwas weiter entwickelt, deformirt, schwer zu deuten. Ein grosser rhombischer Schlitz, durch welchen weisse Masse zu Tage tritt, nimmt fast die halbe Oberfläche ein; neben ihm auf einer Seite ein dunkelbrauner Wulst. Das Pigment ist intracellular, nicht intercellular gelagert. An der anderen Seite des Embryo ein grosser brauner Fleck im Zustande der Framboisia minor.

(Nr. 182.) Die Gegend der künftigen Rückenfurche längs aufgeschlitzt. Der Embryo ist anderen Tages noch aufgeplatzt, aber weiter entwickelt mit Haftnäpfen, die Hirnwülste jedoch noch nicht vollkommen zum Abschluss vereinigt. 6 Tage alt aufgehoben. Kopf normal entwickelt. Dorsal findet sich in der aboralen Hälfte eine Spaltung des Thieres, und jede Hälfte besitzt gegen den Spalt hin einen dicken braunen Wulst von der Gestalt eines geschlossenen Medullarrohres, von welchem aus dann noch eine neu gebildete braune Schicht sich etwas über den Spalt weg gegen die andere Seite hin erstreckt, ohne dass jedoch in der Mitte des Spaltes diese beiderseitigen Massen sich erreichen. Jede Hälfte hat ausserdem einen besonderen, geknickten und mit einem Epithelsaum versehenen Schwanz; so dass sich der ganze Embryo in der Form einer Duplicitas posterior darstellt. Die Querschnitte zeigen aber, dass die Längswülste nicht durch je ein geschlossenes Medullarrohr gebildet werden, sondern dass der linke aus Urwirbelmassen, der rechte aus indifferentem Gewebe besteht. Links ist ausserdem die Chorda unter der Mitte der Urwirbelmasse gelagert, und letztere erscheint annähernd symmetrisch gegen die Chorda gruppirt. Medial von der Chorda liegt die nicht geschlossene linke Hälfte des Medullarrohres, während die rechte Hälfte in gleicher Beschaffenheit rechts in der Tiefe neben der rechten Urwirbelmasse sich findet. Es war also nicht zu erkennen, ob etwa jede von ihrem Gegenpart getrennte Antimere sich durch Regeneration eine neue Antimere zu schaffen bestrebt war, nur die symmetrische Umgruppirung der linken

Urwirbelmasse um die in toto links befindliche Chorda konnte Derartiges andeuten. Embryonen, welche länger am Leben geblieben sind und bei denen auch die Chorda halbirt ist, werden über diese Eventualität Auskunft geben.

Operationen nach Ausbildung der Medullarwülste.

(Nr. 156.) Die Rückenfurche liegt auf der Unterseite, da sie sich in Zwangslage entwickeln musste und daher sich nicht durch Drehung des Eies nach oben wenden konnte. Durch Andrängen mit stumpfer Gewalt ist die ventrale Vereinigung der Medullarwülste in der oralen Hälfte der Länge nach aufgesprengt worden. Embryo weiter entwickelt; Schwanz einfach, normal; Lordose im Bereich, des Rumpfes. Kopf im Bereiche des Gehirntheiles deutlich getheilt, Gesicht einfach mit zwei normalen Haftnäpfen. Hydrops der vorderen Halsgegend.

(Nr. 176.) Medianebene längs der Rückenfurche von hinten her gespalten. Embryo von 6 Tagen, vollkommen normal mit langem ungetheiltem Schwanz.

(Nr. 171.) Rückenwülste durch stumpfe Gewalt quer gespalten. Embryo von 6 Tagen im Ganzen normal, nur eine Knickung des allenthalben geschlossenen Medullarrohres hinter dem Halstheil, und eine circumscripte stark prominirende Geschwulst links und dorsal an der Knickungsstelle. Ist es Geschwulstbildung aus abgesprengten Theilen des Medullarrohres?

(Nr. 0.) Rückenwülste sofort nach dem Auftreten derselben quer durchschnitten. Embryo von 5 Tagen, vollkommen normal entwickelt; Kopf wohlgegliedert mit Haftnäpfen und Kiemenansätzen, Schwanz normal; nur aboral vom Halsmark links eine quere Narbe am geschlossenen Medullarrohr erkennbar.

Operationen auf der ventralen Seite des Embryo nach Anlage der Rückenwülste:

(Nr. 177.) Auf der Mitte des Bauches einen Längsschlitz gegemacht. Embryo schon andern Tages vollkommen normal, keine Wunde und Narbe sichtbar, Heilung also per primam intentionem diesmal wohl im wahren Sinne durch unmittelbare Verklebung oder Ausfüllung der dabei gebliebenen minimalen Spalten

durch Wanderung und Theilung der Nachbarzellen. Embryo 6 Tage alt, ebenfalls noch normal weiter entwickelt, aufgehoben.

(Nr. 179.) Mitten auf der ventralen Seite ein Loch gemacht. Embryo von 6 Tagen, vollkommen normal.

(Nr. 181.) Links hinten ventral ein Loch gemacht. Embryo 6 Tage alt, normal.

(Nr. 178.) Mitten auf der Bauchseite (oberen Seite des Eies in Zwangslage) ein grosses mehrfach geschlitztes Loch gemacht. Anderen Tages ist das Loch braun umgeben, wie sich auch sonst oft um eine Verletzungsstelle in noch späteren Stadien innerhalb kurzer Zeit, in einer halben Stunde schon (siehe oben S. 431) das Pigment anhäuft. Der 6 Tage alte Embryo ist vollkommen normal und lässt keine besondere Pigmentirung oder Narbe am Bauche erkennen.

(Nr. 170.) Vor dem Gehirnwulst angestochen. Embryo von 6 Tagen, Kopf normal, Hinterleib und Schwanz verschrumpft in Framboisia major, also im Absterben.

Also nach Operationen am Bauche sind zunächst keine formalen Störungen bemerkbar geworden.

(Nr. 159.) Neun Embryonen von Rana esculenta mit eben aufgetretener Medullarfurche fast total quer durchnitten, so dass bei den meisten nur noch eine ganz schmale Brücke die vordere und hintere Körperhälfte zusammenhält. Anderen Tages alle conservirt. Ein Embryo mit noch breiterer ventral gelegener Brücke hat sich normal weiter entwickelt, das Medullarrohr vorn und hinten geschlossen und den Kopf normal ausgestaltet, obgleich die Mitte des Rückenmarkes durch eine grosse mit weisser Masse erfüllte quere Wunde gespalten ist. Bei den anderen Embryonen ist die äussere Leibeswandung fast ringsherum gespalten, die Vereinigung nur durch weisses Material hergestellt; gleichwohl aber zeigt sich lebendige Reaction durch Bildung eines Epithelsaumes an den Wundrändern; ein solcher Saum findet sich sogar an zwei Embryonen mit vollständig getrennten Körperhälften. Aber keiner dieser acht Embryonen hat sich weiter entwickelt, warum? Bei einigen ist in der Umgebung der Wunde anderen Tages leichte Framboisia minor wahrnehmbar.

Weiterhin Verletzungen in der Gegend des künftigen Gesichtes, ventral von dem queren Gehirnwulste:

(Nr. 157.) Längs der Mittellinie die ventrale Seite bis zum Gehirnwulst aufgeschlitzt. Embryo von 5 Tagen, dorsal normal, dagegen Gesichtstheil verkümmert. Hals und vordere Rumpfgegend aufgebläht, in der Mittellinie offen und ein dunkelbrauner Körper hängt aus der (ursprünglich hydropischen?) Höhlung heraus.

(Nr. 155.) Ventral in der Medianebene gegen den Gehirnwulst hin gespalten. Embryo von 5 Tagen, an Schwanz und Rumpf normal, Gehirntheil des Kopfes entwickelt, Gesichtstheil viel zu klein, in der Mitte durch eine tiefe braune Furche geschieden in zwei Theile, von denen jeder einen Haftnapf trägt. Rechts am Halse eine grosse braune Geschwulst.

(Nr. 158.) In der gleichen Art operirt mit ähnlichem Effect; nur fehlt die Spalte in dem viel zu kleinen Gesichtstheil, und vorn am Brusttheil befindet sich ein grosser dunkelbrauner erhabener Narbenstreifen. Hinterleib und Schwanz mit vielen kleinen Excrescenzen: Framboisia major.

(Nr. 150.) Den Gehirnwulst selber gespalten. Embryo von 6 Tagen, entwickelt. Vorderhirnblasen getheilt, durch eine Furche geschieden und zu klein, Gesichtstheil scheitelwärts von den Haftnäpfen nicht vorhanden. Hydrops der Halsgegend. Entwicklung von Rumpf und Schwanz normal.

(Nr. 180.) Angeblich gleichfalls den Gehirnwulst gespalten. Embryo von 6 Tagen, mit normal gestaltetem Kopfe, nur rechts zwischen dem Haftnapfe und den Kiemen ein runder weisser Defect.

(Nr. 128.) Den Gehirnwulst gespalten. Anderen Tages schon das Medullarrohr geschlossen und Kopf normal, bloss vorn etwas niedrig.

(Nr. 175.) Die linke Ecke des queren Gehirnwulstes zerquetscht. Anderen Tages schon von normalem Aussehen und weiter entwickelt. Embryo von 6 Tagen, vollkommen normal.

(Nr. 129.) Linke Ecke des Gehirnwulstes zerschlitzt. Embryo von 5 Tagen, entwickelt, Kopf im Einzelnen normal gestaltet, aber assymmetrisch, so dass der linke Haftnapf vielmehr scheitelwärts steht.

Nach **Schluss des Medullarrohres** und nach Ausbildung der Haftnäpfe und der Schwanzanlage operirt:

(Nr. 152.) Kopf von vorn her durch die Haftnäpfe hindurch gegen den Nacken hin durch stumpfen Druck aufgeplatzt. Bei der Besichtigung nach drei Stunden schon ein brauner Hof um die Wunde wahrnehmbar, deren Oeffnung sich bereits durch Näherung der Wundränder erheblich verkleinert hat. Anderen Tages bloss noch eine feine Furche beiderseits am Kopfe sichtbar, aber der Kopf erheblich zu klein; Schwanz im Zustande der Framboisia major.

(Nr. 154.) Kopf von vorn schräg gegen den Nacken hin gespalten. Anderen Tages der Gesichtstheil klaffend gespalten, aber die Wunde schon braun überhäutet und nur in der Tiefe noch einen weissen aber dunkelbraun umgebenen Fleck zeigend.

(Nr. 172.) Die gleiche Operation mit gleichem Effect. Nach zwei Tagen Embryo an Rumpf und Schwanz schön weiter entwickelt. Kopfwunde auch in ihrem Grunde überhäutet, aber noch weit klaffend. Kiemenanlagen indes nicht wahrnehmbar.

(Nr. 153.) Den Nacken des Embryo gespalten. Nach zwei Tagen nichts Abnormes am Kopfe wahrnehmbar, aber an Rumpf und Schwanz Andeutungen von Framboisia.

(Nr. 174.) Die vorderste Kuppe des Kopfes quer zur Längsachse des Thieres abgeschnitten. Nach zwei Tagen die Querschnittfläche des Medullarrohres durch eine dunkelbraune Lage quer verschlossen, desgleichen der Querschnitt des Gesichtstheiles, und beide durch eine frontale Furche von einander getrennt. Das abgeschnittene Stück im Zustande der Framboisia major et minor; die Schnittfläche nicht überhäutet, aber die Zellen derselben gleichfalls kugelrund.

(Nr. 149.) Das Hintertheil des Embryo gequetscht bis zum Rest des Urmundes. Nach drei Stunden ist ein brauner Hof um die Wunde sichtbar. Anderen Tages Schwanzanlage ungetheilt vorhanden, rechts hinten am Rumpfe eine grosse klaffende Wunde mit zerfetzten Rändern, kein Heilungsbestreben erkennbar; Hinterleib im Zustand geringer Framboisia major et minor.

Wenn wir die bei den Operationen an der Gastrula und an nächstfolgenden Phasen der Entwicklung erhaltenen Resultate im Allgemeinen zusammenfassen, so ergibt sich, dass die Sub-

stanzaustritte sehr gering waren, sofern nicht direct das Dotterlager verletzt worden war. Dem entsprechend entstanden auch keine Bildungsdefecte mehr im Ektoderm, sondern die scheinbaren Defecte sind als die klaffenden Wunden selber aufzufassen. Fand gute Coaptation der Wundränder statt, so heilte die Verletzung rasch per primam intentionem; fehlte die Cooptation, so wurde die Wunde allmählich von der Oberflächenschicht überwuchert und eine Narbe kennzeichnete noch längere Zeit die Verletzungsstelle. In keinem Falle war bemerkbar, dass die blossliegende weisse Schicht von sich aus ein neues Ektoderm gebildet hätte, wie dies auch selbst bei den Bildungsdefecten der während der Furchung angestochenen Eier nicht der Fall war; ein interessanter Hinweis auf Waldeyer's Annahme, dass schon mit der Bildung der Keimblätter die Materialien functionell geschieden sind.

Die Folgen für die weitere Entwicklung des Embryo waren verschiedene. Ein Theil der Embryonen starb bald nach der Verletzung, auch wenn keine Infection eingetreten war, ab. Es war nicht zu entscheiden, ob der Tod die Folge der Zusammenhangstrennung der Theile an sich oder vielleicht durch den Mangel epithelialen Schutzes, unter Eindringen von Fruchtwasser in den Embryo bedingt war. Sofern aber der Embryo durch weitergehende Reaction an der Wundstelle ein längeres Ueberleben bekundete, blieb auch die weitere Entwicklung nicht aus. Diese weitere Entwicklung fand selbst bei sehr ausgedehnten Spaltungen der Gastrula oder des Embryo statt und bildet entweder normale Formen selbst bis dicht an die Wundränder aus, oder es entstanden Formenalterationen, welche aber meist nicht mehr von der Norm abwichen, als unmittelbar aus der mit der Verletzung verbundenen passiven Deformation sich ableiten liess. Nur in wenigen Fällen entstanden allgemeinere Verbildungen, welche man vielleicht auf eine Störung allgemeinerer Bildungscorrelationen beziehen könnte.

Einige Male traten in unmittelbarer Umgebung oder auch entfernter von derselben grössere, wohlumgrenzte Geschwulstbildungen auf. Ob sie durch passiv beim Eingriffe dislocirtes Material bedingt waren, wird vielleicht die mikroskopische Untersuchung derjenigen Fälle ergeben, wo sie neben dem Medullarrohr ge-

legen sind, und die Operation die Anlagestelle dieses Organes getroffen hatte.

Specielle Schlüsse über unsere fundamentale Alternative: Selbstdifferenzirung vieler einzelner Theile des Eies und des Embryo, oder Entwicklung durch differenzirende Correlation naher und entfernter Theile unter einander sind auch nach diesen Versuchen nur in sehr eingeschränktem Maasse möglich, da unsere Versuche noch zu unvollständig sind und die Frage nach dem Antheil der Regeneration noch nicht gelöst ist. Indes bekundet die Differenzirung der von einander getrennten Theile der Medullarwülste bis dicht an die Wundstelle heran immerhin eine gewisse Unabhängigkeit der Theile von dem Zusammenhang mit ihrer Nachbarschaft.

Es wird nöthig sein, zunächst möglichst vielseitige Erfahrungen über dieses unser besonders günstiges Versuchsobject, über das Froschei, zu sammeln, um eine vollkommene Uebersicht über seine Leistungsfähigkeit zu gewinnen und darnach Schlüsse ziehen zu können, welche zunächst zwar nur für dieses Ei, aber für dieses auch unzweifelhaft Geltung haben. Der Vergleich mit dem Verhalten anderer Eier, z. B. von Thieren, welche eine höhere Regenerationsfähigkeit besitzen, wie z. B. des Triton oder der Kröte, wird uns dann zu richtigen Verallgemeinerungen dieser zunächst bloss an einer Species gemachten Beobachtungen führen.

Für beide Glieder unserer Alternative für Selbstdifferenzirung und für differenzirende Wechselwirkung der Theile des Eies liegt bereits ein werthvolles anderweites Beobachtungsmaterial nebst einigen theoretischen Vorarbeiten vor. Wir wollen auf Grund dieser beiderlei Vorarbeiten zunächst einen vorläufigen Ueberblick über die Stellung beider Principien zu gewinnen suchen und werden dabei noch einige neue Beobachtungen hinzufügen.

3.

Zunächst sind **für die Selbstdifferenzirungsfähigkeit von Theilen des Eies und Embryos** eine Anzahl Beobachtungen mitzutheilen, welche damit zugleich auch für den Mangel einer die ganze Gestaltung beherrschenden und alle Störungen ausgleichenden

Selbstregulation sprechen und erkennen lassen, dass nicht jede frühere Entwicklungsphase in ihrer Gesammtheit die nothwendige Vorbedingung des Eintrittes einzelner Theile der folgenden Phase ist, eine für die Auffassung der Entwicklung nicht unwesentliche Beschränkung der bedeutungsvollen Erkenntniss von Bergmann und Leuckart[1]) und von His[2]), dass jeder einzelne Entwicklungsmoment die nothwendige Folge des vorausgehenden und die Bedingung des folgenden ist.

In diesem Sinne sind einmal die zahlreichen Anachronismen vom ersten Beginne der Entwicklung an und während des ganzen Verlaufes der Entwicklung hindurch zu verwerthen. Der Anfang beginnt häufig schon so heterochron, wie ich im vorigen Jahre angedeutet und in diesem Jahre vielfach bestätigt gefunden habe, dass die durch ihre Beziehungen zu dem weiteren Verlauf der Entwicklung wohl charakterisirte, normale erste Furche erst als zweite auftreten kann, ohne dass dadurch die Entwicklung selber gestört wird. Weiterhin sind während der ganzen Furchung zeitliche Verwechslungen ausserordentlich häufig, und sie bedingen vorzugsweise die grossen Unregelmässigkeiten des Furchungsgebildes, welche von anderer Seite für besondere Furchungstypen gehalten worden sind. Sehr häufig ist ferner, wie erwähnt, das Nichtgeschlossensein des Urmundes zur Zeit des Auftretens der Rückenwülste und das Andauern dieses Zustandes noch bis zur Zeit des Schlusses des Medullarrohres und der Anlage der Kiemenhöcker und der Haftnäpfe. Diese letzteren Bildungen können an der vorderen Körperhälfte anscheinend vollkommen normal vor sich gehen, obgleich die hintere Körperhälfte durch das weite Offenstehen des Urmundes eine ganz abnorme Gestalt besitzt. Ferner wurden an einer misslungenen Kopfanlage ohne Gehirnblasen die Haftnäpfe angelegt. Noch auffallender ist, dass, wie ich einige Male sah (vgl. S. 441), auch beim gänzlichen Ausbleiben der Medullarwülste, doch allmählich die Gastrula ihre runde Gestalt zu jener Birnform umänderte, welche sonst mit der Anlage und Ausbildung des Medullarrohres zu ent-

1) Bergmann und Leuckart, Vergleichende Anatomie und Physiologie des Thierreiches 1851.

2) W. His, Unsere Körperform. 1874.

stehen pflegt. Ferner gehört hierher der gleichfalls bereits erwähnte Acephalus nach dem Anstechen des in der dritten Furchung begriffenen Eies, da der übrige Körper normal gestaltet war, sowie überhaupt die vorstehend mitgetheilte Thatsache, dass auf circumscripte Defecte am sich furchenden Eie nur circumscripte Defecte am Embryo zu folgen brauchen, bei normaler Gestaltung der nicht von dem Defecte betroffenen Gegenden des Embryo.

Diese Beweise unvollkommener Selbstregulation und Regeneration des Froschembryo und zugleich selbständiger Differenzirung einzelner Theile desselben werden in ihrer Bedeutung verstärkt durch eine grosse Zahl von Missbildungen, welche an höheren, zum Theil auch an gleichstehenden und niederen Wirbelthieren beobachtet sind. So finden sich bei den gröbsten Deformationen, z. B. beim Aufgeplatzt- oder Offengebliebensein des Medullarrohres, ebenso des Leibes mit Umkehrung von Brust, Bauch und Becken nach rückwärts (Schistosomus reflexus), ferner bei hochgradigen Ansammlungen von Flüssigkeit in den Körper- oder Organhöhlungen, die nicht direct von der Ursache zerstörten Organanlagen wohl differenzirt und nicht mehr in ihrer Ausbildung gehemmt, als sich von der mechanischen Gesammtdeformation der ganzen Gegend ableiten lässt; so dass also die embryonalen Organe in ihnen angezwungenen Formen sich entwickeln können, wenn sie nur Raum und Nahrung und Schutz vor äussern Schädlichkeiten haben. Ferner können bei Erfüllung dieser letzteren drei Bedingungen viele später unentbehrliche Theile des Embryo fehlen, ohne dass dadurch die Weiterentwicklung des übrigen Theiles aufgehoben oder auch nur in hohem Maasse alterirt wird. Es kann das Gehirn oder der ganze Kopf fehlen bei übrigens ziemlich normalem Rumpf (Acephalus), der Rumpf fehlt bei entsprechender Bildung des Kopfes (Acormus), ebenso die Augen bei Vorhandensein ihrer äusseren Schutzapparate, es fehlt die ganze äussere Leibesgliederung (Amorphus) bei blosser Existenz einzelner innerer Organe, oder auch diese sind bloss stückweise vorhanden, schliesslich fehlt jede Sonderung einzelner Ogane bei blosser Ausbildung der Gewebe. Panum[1]) hat in Bezug auf diesen Gesichts-

1) P. L. Panum, Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung der angeborenen Missbildungen. Virchow's Archiv 1878 Bd. 72 S. 85.

punkt ein reiches Material gesammelt und daraus den Schluss abgeleitet, dass die in Rede stehenden Gebilde dem Begriffe eines Organismus nicht entsprechen; da ihre Theile nicht den Zwecken des Ganzen dienen und das Ganze keinen Selbstzweck hat; dieselben sind nach ihm vielmehr als geschwulstartige Conglomerate verschiedener von einander unabhängiger Gewebe und Gebilde anzusehen, welche wie selbständige Gewächse oder Pflanzen sich, kraft ihres eigenen Lebens, unter gemeinschaftlichen Lebensbedingungen entwickelt haben. F. Marchand[1]) hat auf Grund obiger Thatsachen diese Auffassung verallgemeinert, indem er sagt, dass auch schon der normale Embryo in seinen früheren Stadien dem Begriffe eines Organismus nicht entspricht.

Die Ursachen dieser hochgradigen Defect- und auch zum Theil der grossen Deformationsmissbildungen wirken, so viel wir jetzt sehen, schon zu Zeiten, ehe die einzelnen Organe und Gewebe vollkommen angelegt oder ausgebildet sind; daraus folgt, dass die Theile nach so hochgradigen Störungen ihrer selbst oder ihrer Nachbarschaft nicht bloss noch am Leben zu bleiben, sondern sogar in einer oft noch an das Normale erinnernden Weise sich formal und geweblich zu differenziren vermögen. Dasselbe wird vielleicht noch genauer festzustellen sein durch die von W. Zahn[2]) eingeführte, weiterhin von G. Leopold[3]) und E. Fischer[4]) fortgesetzte Transplantation embryonaler Theile in Ernährung und Schutz gewährende Organe erwachsener Thiere, wobei sich schon jetzt gezeigt hat, dass manche embryonale Theile nicht bloss zu wachsen, sondern sich in annähernd normaler Weise geweblich weiter zu differenziren vermögen. Desgleichen lassen die Keime der Dermoidkystome ausser Haut, Haaren und Drüsen, auch wohlgebildete Zähne mit Kiefertheilen ausser Zusammenhang mit

---

1) F. Marchand, Realencyklopädie der gesammten Heilkunde von Eulenburg 1881, Artikel: Missbildungen S. 7.

2) F. Wilh. Zahn, Sur le sort des tissus implantés dans l'organisme. Genève 1878 und Virchow's Archiv 1884 Bd. 95 S. 369—387.

3) G. Leopold, Experimentelle Untersuchungen über die Antiologie der Geschwülste. Virchow's Archiv 1881 Bd. 85.

4) E. Fischer, Ueber Transplantationen von organ. Material. Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie 1882 Bd. 17 S. 61 und S. 362.

den normalen Nachbartheilen des Organismus hervorgehen. Wohl auch enthalten verschleppte Geschwulstkeime, welche sich zu metastatischen Geschwülsten entwickeln, zur Zeit ihrer Verschleppung noch nicht immer schon die differenzirten Gewebe, die wir nach ihrem Wachsthum in ihnen finden; dann würde auch hier selbständige gewebliche Differenzirung vorliegen, wobei aber von den Blutgefässen abzusehen ist, da diese entweder von der Nachbarschaft direct hineinwachsen oder doch von ihr aus unter der Wirkung functioneller Reize sich in den Tumor hinein differenziren, somit der functionellen Anpassung zugehören.

Schliesslich sind auch hier die abgeschnürten sog. Nebenorgane zu verwerthen; vor allem diejenigen, welche eine specifische, dem Gebilde im Ganzen angepasste Structur haben, die die gröbere Structur des normalen Organes wiederholt; dies kommt freilich wohl nur bei sehr wenigen Organen vor; vielleicht bei den accessorischen Nebennieren, wo die hierbei allein vorhandene Rindensubstanz die normale regelmässige Anordnung der Zellstränge zeigt[1]); zweitens können aber auch die abgeschnürten Theile von Organen, welche keine solche specifische, besondere Gestaltungskräfte des Ganzen voraussetzende Structur haben, von entsprechender Bedeutung sein; so die Nebenmilzen und Nebenlebern, deren gröbere Structur, wie ich zeigen werde, vorwiegend in das Gebiet der functionellen Anpassung fällt. Diese Organe sind für uns von Bedeutung, sofern ihre Isolirung von der normalen Umgebung schon vor der Vollendung ihrer specifischen Gewebebildung erfolgt war und sofern diese specifische Gewebebildung nicht auch bloss eine Folge der functionellen Anpassung ist.

Wir ersehen aus den angeführten Beispielen, dass viele Theile des Embryo unter günstigen Ernährungsumständen sich unabhängig von ihrer näheren oder ferneren Umgebung geweblich und formal zu differenziren vermögen, und dass dies zum Theil sogar in annähernd normaler Weise geschehen kann. Daraus geht hervor, dass die Differenzirung dieser Theile an sich nicht eine Function der Wechselwirkung zwischen ihnen und den anderen Theilen ist.

---

1) Vgl. F. Marchand, Ueber accessorische Nebennieren im Ligamentum latum. Virchow's Archiv 1883 Bd. 92.

Also eine gewisse gewebliche und formale Selbstdifferenzirung vieler Theile des sich entwickelnden Eies ist sicher vorhanden. Ich werde durch besondere Specialuntersuchungen im Einzelnen festzustellen suchen, welche kleinsten Theile sie betrifft, in welcher Periode der Entwicklung sie anfängt, wie weit sie geht, und ob Complexe dieser kleinsten Theile sich wiederum weiter zu differenziren vermögen als die einzelnen Theile für sich.

Man kann geneigt sein, auch aus den bereits bekannten Verhältnissen der normalen Entwicklung Schlüsse auf Selbstdifferenzirung von Theilen zu ziehen und vielleicht anzunehmen, dass z. B. diejenigen Organe, welche frühzeitig von ihrer Umgebung gesondert werden, wie das Gehörorgan, die Augenblase, die Extremitätenknospe sich in sich selber differenziren. Da aber die Isolirung dieser Theile nirgends eine vollkommene ist und wir zunächst noch auf gänzlich unbekannte Möglichkeiten Rücksicht zu nehmen haben, so können diese Folgerungen vorläufig nicht über den Werth von Vermuthungen hinaus gelangen.

Die Selbstdifferenzirung räumlich begrenzter Theile, für deren Betheiligung an der Entwicklung wir hier einige Beweise aufgeführt haben, kann, wie schon angedeutet, von zweierlei Art sein: rein formaler oder qualitativer Art. Die „formale Selbstdifferenzirung" ist die leichter verständliche und kann z. B. auf ungleichem Wachsthum der Theile beruhen; denn wenn, wie schon in der Einleitung erwähnt worden, ein ganz einfach geformtes Gemenge zu verschiedenem Wachsthum befähigter Substanzen in die Lage versetzt wird, diese latenten Ungleichheiten zu bethätigen, so müssen nothwendig entsprechend viele verschiedene Formen die Folge dieser vielfachen ungleichen Vergrösserungen der Theile sein. Obgleich nun die Gelegenheit zu diesem Wachsthum, die Nahrungszufuhr vielleicht von aussen kommt, und der Vorgang alsdann in seiner Totalität erfasst, nicht als Selbstdifferenzirung bezeichnet werden kann, so kann doch das Formale, was dabei entsteht, in seiner Form rein von den Lagerungsverhältnissen der mit ungleicher Wachsthumskraft begabten Theile abhängig sein, und die Formenbildung als

solche muss dann als formale Selbstdifferenzirung bezeichnet werden, trotz der stattfindenden Aufnahme von Energie. Wenn dagegen das ungleiche Wachsthum bloss von ungleicher, durch äussere Kräfte bestimmter Vertheilung der Nahrung abhinge, und somit diese äusseren Kräfte die zu bildende Form direct bestimmten, dann wäre natürlich die Formenbildung nicht mehr als formale Selbstdifferenzirung, sondern als unvollkommen passive Differenzirung zu betrachten.

Bei dem ungleichen Wachsthum aus eigenen Kräften müssen aber auch mechanische Wechselwirkungen zwischen den Theilen entstehen und passive Gestaltungen dadurch hervorgebracht werden, worüber hinten ausführlich gehandelt werden wird.

Natürlich können formale Selbstdifferenzirungen auch durch ungleiche Verkleinerung von Theilen, sowie durch blosse Umformung oder Umordnung der Theile ohne Aenderung ihrer Masse oder durch Combination aller dieser Arten von Formwandlungen entstehen.

Die „qualitative Selbstdifferenzirung" räumlich abgegrenzter Bezirke des Eies oder Embryos angehend, so hat ausser bei vollkommener Selbständigkeit der Differenzirungsvorgänge in dem betrachteten Bezirk ohne jede Zufuhr oder Abgabe von Energie, unsere Bezeichnung auch hier wieder wie bei der formalen Selbstdifferenzirung noch in dem Falle Berechtigung, dass eine Zufuhr oder Abgabe für den Differenzirungsvorgang unerlässlich nöthig ist, sofern nur auch hier die specifische Natur der Veränderung vorwiegend durch die Kräfte der Materie des Bezirkes bestimmt ist; wir werden dann den Vorgang als „unvollkommene Selbstdifferenzirung" bezeichnen. Wird z. B. ein Gemenge verschiedener, trockener, chemischer Substanzen in ozonhaltige Luft gebracht, so werden viele derselben sich verändern, jede an allen Orten, wo Theile von ihr vorhanden sind und jede in anderer Weise. Die qualitative Natur jeder dieser Veränderungen ist natürlich mit durch die wunderbaren Eigenschaften des Sauerstoffs, mit jedem dieser Körper eine Verbindung von ganz bestimmten Eigenschaften einzugehen, bedingt. Aber der Grund des uns hier vorzugsweise interessirenden specifischen Verhaltens unserer Substanzmenge, eine grosse Anzahl neuer Verbindungen hervorgehen zu lassen, liegt in der schon vor-

her vorhandenen verschiedenen Zusammensetzung; und der Ausbreitungsbezirk jeder dieser neugebildeten Substanzen ist gleichfalls durch die Natur unserer Substanz bedingt. Wir werden daher die Sauerstoffzufuhr nur als die unerlässlich nöthige „Vorbedingung“ zu der neuen Differenzirung des Substanzgemenges betrachten.

Findet umgekehrt innerhalb einer gleichartigen Substanz an einer oder mehreren Stellen derselben eine Veränderung durch Ozon, welches von aussen her bloss diesen Stellen zugeführt wird, statt, so ist letzteres natürlich als die „Ursache“ der qualitativen Differenzirung dieser Stellen zu bezeichnen, da ihm jetzt das Specifische der vor sich gehenden Veränderung, die species loci, zukommt.

Ist dagegen die Oertlichkeit beiden Theilen von vornherein in gleicher Weise eigen, so kann bei der Bildung binärer Verbindungen natürlich nur von gleichwerthigen Componenten die Rede sein; bei der Bildung ternärer und höherer Verbindungen wird es sich vielleicht empfehlen, die einfachere Componente als die Bedingung von der complicirteren als der Ursache der specifischen Natur der Veränderung beider zu unterscheiden, weil anzunehmen sein wird, dass die specifische Natur der neuen Verbindung in höherem Maasse von der zusammengesetzteren Componente bestimmt wird.

Findet zwischen zwei Nachbarn des obigen Substanzgemenges chemische Wirkung statt, so wird dies bloss innerhalb des beiden Theilen gemeinsamen Berührungsbezirkes möglich sein, und wir können nach der eben gegebenen Distinction die beiden Componenten benennen. Die Veränderung der zusammengesetzteren Componente wird als unvollkommene Selbstdifferenzirung, die der einfacheren Componente als passive oder correlative Differenzirung zu bezeichnen sein; die Veränderung des von beiden Substanzen gebildeten Systemes dagegen als vollkommene Selbstdifferenzirung dieses Systemes. Ist aber zum Vorgang dieser Veränderung vielleicht noch Zufuhr von Energie, z. B. von Wärme oder Licht, nöthig, so liegt unvollkommene Selbstdifferenzirung des Systemes vor.

Nach diesen Principien werden in den speciellen Beiträgen die Unterscheidungen gemacht werden.

Nachdem so ein erster Ueberblick über das Wesen und eventuelle Vorkommen der Selbstdifferenzirung von Theilen des Embryo gewonnen ist, wollen wir nun auch über die eventuellen differenzirenden Correlationen uns einen solchen zu verschaffen suchen.

Arten differenzirender Wechselwirkungen der Theile des Embryo.

Wir kennen bereits drei Arten differenzirender Correlationen etwas genauer, das heisst weniger ungenau als andere gegenwärtig bloss unbestimmt zu vermuthende Arten.

Um, in der Entwicklung des Individuums rückwärts schreitend, mit dem besser Bekannten anzufangen, ist zunächst die **functionelle Anpassung** zu erwähnen. Mit dieser Bezeichnung habe ich[1]) alle progressiven und regressiven Anpassungsvorgänge der Organe zusammengefasst, welche durch die eigene Functionsvollziehung oder Unterlassung vermittelt werden; und desgleichen soll dieselbe Bezeichnung auch für das Product jedes solchen Vorganges verwendet werden.

Die so bezeichneten Wechselwirkungen zwischen Function und dem dieselbe vollziehenden Substrate sind schon seit Lamarck Gegenstand besonderer Aufmerksamkeit der Naturforscher gewesen, und zahlreiche Forscher haben sich über die Art der Vermittelung und über die Ursachen derselben im Allgemeinen oder in Bezug auf einzelne Organe oder Gewebe geäussert; so: Joh. Müller[2]), Canstadt[3]), Herm. Meyer[4]), J. Henle[5]), Ludw. Fick[6]), R. Virchow[7]), A. Fick[8]), C. Ludwig[9]), W. Henke[10]), H. Spencer[11]),

1) W Roux, Der Kampf der Theile im Organismus, ein Beitrag zur Vervollständigung der mechanischen Zweckmässigkeitslehre. Leipzig 1881, Engelmann.

2) Joh. Müller, Handbuch der Physiologie 1837.

3) Canstadt, Wagner's Handwörterbuch der Physiologie 1842 Bd. 1. Artikel: Atrophie.

4) Herm. Meyer, Untersuchungen über die Physiologie der Nervenfaser. Tübingen 1843, und Arch. f. Anat. u. Physiologie 1867. Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes 1873.

5) J. Henle, Handbuch der rationellen Pathologie I 1846.

6) Ludw. Fick, Ueber die Ursachen der Knochenformen 1857. Ueber die Gestaltung der Gelenkflächen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859.

7) R. Virchow, Die Zellularpathologie 1858.

8) A. Fick, Moleschott's Untersuchungen 1860 Bd. VIII.

9) C. Ludwig, Lehrbuch der Physiologie 1861.

10) W. Henke, Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, 1863.

11) H. Spencer, Principien der Biologie 1864 Bd. 1.

W. His[1]), Ch. Darwin[2]), E. Haeckel[3]), J. Ranke[4]), L. Hermann[5]), J. Wolff[6]), Steudener[7]), J. Cohnheim[8]), H. Strasser[9]), C. Bardeleben[10]), H. Nasse[11]), F. Busch[12]), M. Kassowitz[13]), du Bois-Reymond[14]), Ed. Rindfleisch[15]), W. Preyer[16]), S. Stricker[17]). Diese Aeusserungen sind zumeist bloss gelegentliche; und keiner dieser Autoren hat eine Theorie ausgearbeitet, welche dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntnisse der Thatsachen Genüge zu leisten vermag. Ich habe mich bestrebt, dieses Ziel zu erreichen und angefangen, in einer besonderen Serie

---

1) W. His, Ueber die Häute und Höhlen des Körpers. Academ. Programm, Basel 1865. Unsere Körperform 1874 S. 128.

2) Ch. Darwin, Das Variiren der Pflanzen und Thiere im Zustande der Domestikation.

3) E. Haeckel, Generelle Morphologie der Organismen 1866, und: Natürliche Schöpfungsgeschichte.

4) J. Ranke, Die Blutvertheilung und der Thätigkeitswechsel der Organe 1871.

5) L. Hermann, Grundriss der Physiologie des Menschen 1872.

6) J. Wolff, Ueber die innere Architektur der Knochen, Virch. Arch. 1870 Bd. 50. Beiträge zur Lehre von der Heilung der Fracturen, v. Langenbeck's Arch. f. Chirurgie Bd 14. 1872. Das Gesetz der Transformation der inneren Architektur der Knochen bei pathologischen Veränderungen der äusseren Knochenform. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, phys.-math. Cl. vom 24. April 1884. — Koester, Verhandl. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg, Juni 1872.

7) Steudener, Abhandl. d. naturf. Gesellsch. in Halle 1875 Bd. 13 Heft 3.

8) J. Cohnheim, Vorlesungen über allgemeine Pathologie 1877 Bd. 1.

9) H. Strasser, Zur Entwicklung der Extremitätenknorpel bei Salamandern und Tritonen. Morpholog. Jahrb. 1877 Bd. 3, und: Zur Kenntniss der funtionellen Anpassung der quergestreiften Muskeln. 1883.

10) C. Bardeleben, Ueber den Bau der Arterienwand. Sitzungsber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Nat. 10. Mai 1878 S. 16.

11) H. Nasse, Pflüger's Archiv Bd. 23 S. 361 f.

12) F. Busch, Regeneration und entzündliche Gewebebildung. Samml. klin. Vorträge von Volkmann 1880 Nr. 178.

13) M. Kassowitz, Die normale Ossification. Wien. medicin. Jahrb. von Stricker, 1880.

14) Du Bois-Reymond, Ueber die Uebung. Festrede 1881.

15) Ed. Rindfleisch, Die Elemente der Pathologie 1883.

16) W. Preyer, Elemente der allgemeinen Physiologie 1883

17) S. Stricker, Vorlesungen über allgemeine und experimentelle Pathologie 1883.

von „Beiträgen zur Morphologie der functionellen Anpassung“ [1]) unsere Kenntniss der bezüglichen Vorgänge zu vervollständigen; daselbst werden auch die Leistungen der genannten Autoren eingehend gewürdigt werden. Ich verweise daher bezüglich des Genaueren auf diese Darstellungen und werde hier das Principielle nur so weit erörtern, als es für unseren speciellen Zweck dadurch nöthig gemacht wird, dass die Wirkung dieses Principes vielfach tief in das embryonale Leben eingreift.

Die functionelle Anpassung kann ihre Wirkung in einem Organe natürlich erst beginnen, wenn dasselbe zum ersten Male ausser seiner Selbsterhaltungs- resp. Wachsthumsfunction eine specifische Function ausübt, also erst, nachdem es selber schon bis zu der hierfür nöthigen Vollkommenheit von anderen Principien aus gebildet worden ist. Dieser Moment tritt aber bei einigen Organen, z. B. beim Ektoblast, beim Entoblast, bei dem Herzen und bei den Blutgefässen sehr frühzeitig ein; und schon E. von Baer [2]) ist „fest überzeugt, dass erst durch die Bewegung des Blutes die Gefässwand in dem Gefässhof sich bildet“; H. Virchow [3]), J. Janosik [4]) und J. Kollmann [5]) haben jüngst die verdauende Thätigkeit der eben erst gebildeten Entoblastzellen des Dotterwalles erkannt; und ich habe oben darauf hingewiesen, dass beim Absterben der Gastrula und älterer Embryonen, die Zellen des Ektoblast ihre functionelle polyedrische Gestalt verlieren und sie mit der Kugelgestalt vertauschen; vielleicht ein Zeichen, dass sie vorher schon fungirt haben. Mit der öfteren Functionirung erlangt die Function unter Vermittelung der functionellen Anpassung mehr und

1) W. Roux, 1. Structur eines hochdifferenzirten bindegewebigen Organes (der Schwanzflosse des Delphin). Arch. f. Anat. u. Physiol., anat. Abth. 1883 S. 77. — 2. Ueber die Selbstregulation der morphologischen Länge der Skeletmuskeln. Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss. 1883 Bd. 16. — 3. Beschreibung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenksanchylose. Arch. f. Anat. u. Physiol., anat. Abth. 1885.

2) K. E. von Baer, Ueber die Entwicklungsgeschichte der Thiere 1828 Bd. 1 S. XIV.

3) H. Virchow, Ueber das Epithel im Dottersack. Diss. Berlin 1875.

4) J. Janosik, Beitrag zur Kenntniss des Keimwulstes bei Vögeln. Wiener Sitzungsber. 1881 Bd. 84 Abth. 3.

5) J. Kollmann, Der Randwulst und der Ursprung der Stützsubstanz Arch. f. Anat. u. Physiol., anat. Abth. 1884.

mehr die Herrschaft über das fungirende Substrat, so dass die anderen bildenden Kräfte in der Erhaltung und weiteren Ausbildung des Organes mehr und mehr zurücktreten. Die allgemeine Möglichkeit dieser in ihren Leistungen immer das Zweckmässigste schaffenden Rückwirkungen der Function auf das sie vollziehende Substrat beruht im Allgemeinsten darauf, dass jede Function ein Geschehen ist und als solches die Fähigkeit hat, auf andere in seinem Wirkungsbereich befindliche, ihm nicht conforme Zustände oder Vorgänge, modificirend, eventuell conformirend einzuwirken.

Diese modificirende Wirkung kann eine rein mechanische sein und so lange dauern, bis das fungirende Substrat in eine gewisse mechanische Uebereinstimmung mit dem functionellen Vorgang gebracht ist, bis z. B. die Sehnenfasern in der Richtung des Muskelzuges gelegen sind (W. His), oder bis zwei zusammengehörige Gelenkflächen sich zu einer gewissen, der Führung entsprechenden Uebereinstimmung abgeschliffen haben (Ludw. Fick). Der Wirkungsumfang dieser „mechanisch vermittelten functionellen Anpassung“, oder kürzer dieser mechanischen functionellen Anpassung ist noch nicht recht festgestellt, gleichwohl aber, wie es scheint, erheblich überschätzt worden.

Die Hauptwirkungen der functionellen Anpassung müssen complicirter vermittelt sein und beruhen nach meiner Auffassung auf einer ganz besonderen Qualität des fungirenden Substrates, vermittelst deren in einem von der Häufigkeit der Wiederholung der Function abhängigem Maasse, die den functionellen Verhältnissen entsprechendste Grösse, Gestalt und Structur jedes Organes des Individuums durch die Function selber sich herstellen muss. Da so die Configuration der Organe durch die von aussen her zugeführte, die Function veranlassende und bestimmende Energie bedingt ist, muss die Configurationsbildung selber als eine correlative Bildung bezeichnet werden. Doch ist zu erwähnen, dass zu dem angegebenen vollkommenen Effecte höchster Zweckmässigkeit noch ein anderes, nachstehend erörtertes Princip der Correlation, welches von den früheren Autoren übersehen worden ist, helfend eingreifen muss. Das Wesen der einen solchen Effect ermöglichenden Gewebsqualität ist darin bestehend zu denken, dass mittelbar oder unmittelbar die specifische

Function eine trophische, die Assimilation anregende Wirkung für jedes einzelne kleinste fungirende Theilchen besitzt, resp., wenn letzteres nicht selber assimilirt, dessen Matrix zur Bildung neuer fungirender Theilchen anzuregen vermag, während umgekehrt ohne Function die Selbsterhaltungsfähigkeit der Theile sich vermindert, resp. kein Ersatz der geschwundenen Theile stattfindet.

Diese Art der Anpassung wollen wir daher als die „trophisch vermittelte functionelle Anpassung“ der mechanisch vermittelten gegenüberstellen. Die scheinbar teleologische Wirkung dieser Substanzqualität auf die Gestalt und Structur der Organe beruht theils darauf, dass diese Qualität ein Princip mechanischer, der geleisteten Arbeitsgrösse jedes kleinsten Theilchens entsprechender Selbstlöhnung darstellt; und es ist evident, dass, wenn ein solches mechanisches Princip sich auch auf die ganzen Individuen übertragen liesse, in den socialen Einrichtungen dieser eine gleiche Vollkommenheit sich ausbilden könnte resp. müsste. Anderen Theiles aber ist die Ursache der scheinbar teleologischen Wirkung dieser Gewebsqualität darin zu erkennen, dass letztere zugleich eine Art von Wechselwirkung unter den fungirenden Theilen ermöglicht, welche auf dem Wege der Auslese unter den Theilen zur stetigen Vervollkommnung führen muss, wie in dem nächsten Abschnitt dargethan werden wird. Als Hilfsprincip für die Massenversorgung grösserer Theile mit Nahrung kommt noch hinzu, dass von den Orten des Substanzverbrauches aus im Bedarfsfalle besondere Mechanismen für verstärkte Nahrungszufuhr ausgelöst werden können. Diese gröberen Mechanismen verdanken aber gleichfalls nur der functionellen Anpassung der Blutgefässe und Nerven ihre Entstehung; gleichwohl wurden sie früher als die primären und alleinigen Vermittler der functionellen Anpassung der Organe aufgefasst. Ich habe nachgewiesen, dass diese Auffassung irrthümlich sein muss, besonders deshalb, weil die functionellen Structuren viel feiner sind als die Capillarbezirke, und weil die functionelle Anpassung dimensional beschränkte Hypertrophien und Atrophien, z. B. bloss der Dicke oder bloss der Länge der

Muskeln hervorzubringen vermag, was beides nicht durch die Art der Blutvertheilung bewirkt werden kann.

Zu weit verbreiteten differenzirenden Correlationen der Theile des Organismus führt dieses Princip dadurch, dass die Organe in vielfachen functionellen Correlationen unter einander stehen, indem die Function eines Organes die vieler anderen veranlasst. Die Ganglienzelle setzt den Nerven, dieser den Muskel, dieser die Fascien, Sehnen, Knochen und Gelenke in Thätigkeit, und in allen oder den meisten dieser Theile finden zugleich Aenderungen der Circulation statt, welche die Gefässe und schliesslich das Herz in ihrer Thätigkeit, wiederum unter Vermittelung von Nervenbahnen und Nervencentren alteriren. Durch diese functionellen Correlationen kann schon während der Heranbildung der Organe vom ersten Beginne besonderer, nicht bloss auf die eigene Selbsternährung der Organe gerichteter Functionen an, unter Vermittelung der functionellen Anpassung, das feinere functionelle Zusammenpassen aller Theile zu einander entstehen; und so kann auch bei primärer Aenderung eines einzigen Organes im Embryo eventuell die ganze übrige Organisation eine derartige Abweichung von der normalen Ausbildung erfahren, dass das Individuum doch selbständig lebensfähig ist und bald nach dem Beginne der betreffenden Functionen in allen seinen Theilen als harmonisch gebildet sich darstellt.

Ein zweites Princip möglicher differenzirender Correlationen ist die zuerst von mir erkannte **Theilauslese im Organismus**[1]).

Die Theilauslese im Organismus kann das Product zweier wesentlich verschiedener Vorgänge sein. Einmal ist eine differenzirende Wechselwirkung zwischen selbsterhaltungsfähigen Theilen des Organismus denkbar, die man ihrem Wesen nach mit einigem Rechte als Kampf bezeichnen kann; und zweitens können Theile, welche bestimmte Qualitäten besitzen, einfach aus dem Organismus eliminirt werden, und dadurch die Qualitäten des Organismus, resp. des betreffenden Organes eine qualitative Aenderung erfahren.

1) Der Kampf der Theile im Organismus, Leipzig 1881 und Biolog. Centralblatt 1881 Bd. 1 S. 241—251.

Betrachten wir zunächst die durch Kampf vermittelte Auslese. Um das Wesen dieser Art Vorgänge uns klar zu machen, müssen wir uns etwas weiter umsehen.

Da die Zellen assimiliren und sich so einen Theil ihrer in der Aussenwelt nicht unmittelbar vorhandenen Existenzbedingungen selber produciren, so stellen sie, wie die ganzen Individuen Selbsterhaltungsprocesse dar; und sie sind dies vielleicht gleich den Individuen in einem noch höheren Sinne dadurch, dass ihnen innerhalb gewisser Grenzen noch die Fähigkeit der Selbstregulation zukommt, in der ich die wesentlichste allgemeine Eigenschaft des Organischen erblicken zu müssen glaube[1]). Diese besteht darin, dass beim Fehlen eines Erhaltungsbedürfnisses z. B. der Nahrung, die Fähigkeit sich dieselbe zu verschaffen, sie aus der nächsten Umgebung anzuziehen und aufzunehmen, eine gewisse Strecke weit mit der Grösse des Bedürfnisses steigt, während bei überschüssig vorhandener Nahrung die Aufnahme sich bald verringert, oder z. B., dass bei einem Druck durch die Nachbarschaft auch die Druckwiderstandsfähigkeit der Zellen sich ein wenig steigert. Solche durch Selbsterzeugung eines Theiles ihrer Existenzbedingungen und durch Selbstregulation von den anorganischen physikalisch chemischen Processen unterschiedene und so durch ein Fürsich-Sein, durch ein eigenes Selbst ausgezeichnete Vorgänge können nun auch in andere Arten von Wechselwirkungen untereinander treten als die anorganischen Processe. Bei den Wechselwirkungen dieser letzteren werden stets alle Componenten verändert und zu einer Resultante vereinigt. Von unseren Selbsterhaltungsprocessen dagegen kann der eine den anderen durch seine Anwesenheit total in seiner Sonderexistenz vernichten, während ersterer selber unverändert den anderen überdauert. Da hier somit das Resultat der Wechselwirkung beider dasselbe ist, wie bei einem bewussten Kampfe zweier Individuen, so habe ich es für berechtigt gehalten, auch denselben Namen dafür zu verwenden, zumal da für diese erst neu beachtete Wechselwirkung ohne Bewusstsein, kein besonderer Name existirt, und der ganze Vorgang sich auf die angedeutete

1) Kampf der Theile etc. Kapitel V: Ueber das Wesen des Organischen.

Weise principiell von den anorganischen Wechselwirkungen unterscheidet.

Da die Flammen durch ihre Assimilation und eine gewisse Selbstregulation Selbsterhaltungsprocesse darstellen, so kann man sie zur Demonstration derartiger Kampfesweisen benutzen. Es lässt sich zeigen, wie eine Wachsflamme mit einer Gasflamme zugleich unter einen umgekehrt aufgehängten Glastrichter gebracht, von letzterer vernichtet wird und zwar an einer Stelle, wo sie vorher allein ganz gut sich weiter zu erhalten vermochte. Die Wachsflamme kann ihrerseits wieder eine Stearinflamme vernichten. Ebenso kann man die Wachsthumshemmung einer schwächeren Flamme durch eine stärkere deutlich vorführen, wenn man zwei Papierstreifen, von denen aber der eine mit Oel getränkt ist, gleichzeitig anzündet und unter den Glastrichter bringt. Nachdem die Terpentinölflamme schnell gross aufgewachsen ist und ihr Material aufgezehrt hat, fängt die bis dahin klein gebliebene Papierflamme erst an, sich weiter zu vergrössern.

Es gibt in der Pathologie zahlreiche Vorkommnisse, welche auf einen Kampf unter den Zellen hinweisen, so das Eindringen von einer Zelle in eine andere unter entsprechender Usur der Substanz der letzteren, z. B. bei der Aufzehrung der durch Unterbrechung der Blutcirculation geschwächten Muskelfasern durch einwandernde weisse Blutzellen (vgl. Kampf der Theile S. 94). Der Kampf unter den selbsterhaltungsfähigen Theilen einer Zelle dagegen wird sich schwerer durch directe Beobachtung nachweisen lassen.

Diese Wechselwirkung von Zellen oder sonstigen selbsterhaltungsfähigen Theilen des Organismus, welche mit Verkleinerung oder gänzlicher Vernichtung des Einen durch das sich vergrössernde oder allein überlebende Andere verbunden ist, kann auf sehr verschiedene Weise vor sich gehen.

Erstens kann dieser Kampf ein directer sein, indem die eine Zelle durch ihr Wachsthum die andere Zelle beim Mangel des Raumes direct am weiteren Wachsthum hemmt, oder sie direct erdrückt, derart, dass letztere immer kleiner wird und schliesslich schwindet. Bei Raummangel werden also ceteris paribus die druckfesteren Zellen allein übrig bleiben und allein sich weiter ver-

mehren. Ferner kann eventuell die eine Zelle die andere direct aufzehren, wie wohl in dem erwähnten pathologischen Beispiele und wie normalerweise im Embryo mit den Dotterzellen seitens der Zellen des Keimes geschieht.

Oder zweitens der Kampf ist ein indirect geführter, indem die eine Zelle der anderen nur die Nahrung vorweg nimmt, sofern letztere nur spärlich vorhanden ist und eine der Zellen stärkere chemische Affinitäten besitzt. Solche Wechselwirkung kann auch zwischen nicht benachbarten Zellen stattfinden, ja zwischen ganz entfernten Organen, indem die stärkst assimilirenden am raschesten dem spärlichen Blute so viel Nahrung entziehen, dass der Gehalt desselben an den betreffenden Stoffen bald so gering wird, dass die schwächeren Organe nur wenig oder bald nichts mehr ihm zu entnehmen vermögen; ein Verhältniss, welches zum Theil wohl die ungleiche Gewichtsabnahme der Organe bei der Inanition erklärt, zumal da hierbei die thätigsten, also am meisten verbrauchenden Organe, wie Herz und Gehirn, am wenigsten schwinden. In dieser Wechselwirkung werden also ceteris paribus nur die kräftigst assimilirenden Zellen übrig bleiben. Es leuchtet ein, dass, wenn diese kräftigeren Gebilde nicht im Organismus vorhanden gewesen wären, die schwächeren noch hätten weiter leben können und dass umgekehrt in dem Maasse als die schwächeren Theile noch Nahrung aufnehmen, diese den stärkeren entzogen wird, und dass wenn die schwächeren Theile einmal auf die geschilderte Weise durch die Existenz der stärkeren benachtheiligt worden sind, ein Circulus eingeleitet ist, welcher sie beim Andauern der äusseren ungünstigen Verhältnisse allmählich zum Tode führen muss.

Sind noch andere Mittel zum Leben nöthig, so können natürlich die Theile auch noch diese Erfordernisse einander wegnehmen, z. B. den functionellen Reiz. Wenn z. B. in den Muskelfasern Theile sind, welche den functionellen Reiz ceteris paribus leichter aufnehmen als die anderen, so werden, nach der zur Erklärung der functionellen Anpassung gemachten Annahme, bei einer für die Erhaltung der ganzen Faser ungenügenden Reizzufuhr die leichter erregbaren Theile die weniger leicht erregbaren durch Vorwegnahme einer Lebensbedingung der Vernichtung überliefern.

In diesen beiden Arten directen und indirecten Kampfes führt die Auslese zu einer Züchtung besonderer Qualitäten im Organismus, und die allein zur Erhaltung ausgelesenen Theile werden durch das ungleiche Verhalten der Theile des Organismus gegen eine äussere Ursache (Raum- oder Nahrungsmangel) bestimmt, welche an sich alle in die Wechselwirkung eintretenden Theile in gleicher Weise betrifft.

Umgekehrt kann nun auch bei gleicher Qualität der Theile eine Auslese durch locale Begünstigung von Theilen zu Stande kommen, welche in der Art ihres Zustandekommens noch den Namen eines indirecten Kampfes verdient und wiederum zu einer totalen Vernichtung der Existenz des einen durch die Existenz des anderen führt. Diese Art der Wechselwirkung beruht auf der Tendenz zu bestimmter Localisation der Function in manchen Organen und auf der trophischen Wirkung der Function selber, welche wir als die Grundlage der functionellen Anpassung bezeichnet haben. Diese trophisch vermittelte functionelle Anpassung würde für sich allein wesentlich bloss die leistungsfähige Grösse der Organe auszubilden vermögen; in Verbindung mit der jetzt zu erwähnenden Art der Auslese wird sie zu einem Principe erhoben, welches die Organe bis zur vollkommensten Anpassung an die Function in Gestalt und Structur auszubilden vermag[1]).

Denken wir uns z. B. ein Knochenbälkchen stehe statt in der Richtung des Druckes, schräg zu derselben, so wird dasselbe durch den Druck mehr oder weniger nach der einen Seite hin gebogen werden. Auf der so gebildeten concaven Seite ist alsdann, wie in einem späteren Beitrage zur Morphologie der functionellen Anpassung dargethan werden wird, die Beanspruchung eine stärkere, als auf der entgegengesetzten convexen Seite, und nach obiger Annahme der trophischen Wirkung der Function wird Knochen concaverseits angelagert werden. Durch diesen neugebildeten Knochen hindurch pflanzt sich nun ein grösserer Theil des Druckes an der Concavität fort und die Convexität wird dem entsprechend entlastet; es findet also daselbst Functionsentziehung und daher

1) Vgl. Beiträge zur Morphologie der functionellen Anpassung: 2. Ueber die Selbstregulation der morphologischen Länge der Scelettmuskeln. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. 1883 Bd. 16 S. 63—68.

allmählich Inactivitätsschwund statt, möge dieser nun direct vor sich gehen oder durch ein Sinken der Widerstandsfähigkeit des entlasteten Knochens gegen die Osteoklasten bedingt sein. Ist convexerseits Knochen geschwunden, so wird dadurch die concave Seite noch stärker beansprucht als vorher, hypertrophirt also noch mehr und entlastet wiederum auf der anderen Seite. So wird in allen Organen mit localisirter Functionsgelegenheit durch Hypertrophie an den Stellen stärkerer Function, bei constanter Functionsweise, den Stellen schwächerer Function mehr und mehr der functionelle Reiz, die Gelegenheit zur Function entzogen, und die Theile werden entweder direct rückgebildet oder nach ihrem physiologischen Schwund nicht wieder ersetzt. Ein Gleichgewicht zwischen Function und Substrat ist erst hergestellt, wenn allenthalben die fungirende Substanz in den Richtungen, resp. an den Orten stärkster Function gelegen ist. Findet umgekehrt irgendwo an einer fungirenden Stelle primär Schwund aus irgend einer Ursache statt, so erhalten dadurch nun andere Stellen Gelegenheit zur Function und werden dadurch zu weiterer Ausbildung befähigt. So entsteht durch diese indirecte Concurrenz um die Function mit Hilfe der trophisch vermittelten functionellen Anpassung eine so feine der Function auf das Vollkommenste angeschmiegte „functionelle Structur", wie sie aus den kleinsten von der Function direct trophisch beeinflussten Formelementen zusammengesetzt werden kann. Was nun für die Structur also für die Theile der Organe gilt, gilt natürlich auch für die Integration der Theile zum ganzen Organe. Diese werden auf dieselbe Weise in ihrer Gestalt der Function angepasst werden, bis sie bloss noch den Ausdruck der Gestalt der Function darstellen, somit eine „functionelle Gestalt" besitzen. (Diese Auseinandersetzung ist viel zu kurz, um einwandfrei zu sein; für das Genauere verweise ich auf meine bezüglichen bereits publicirten und noch bevorstehenden Specialarbeiten.)

Bei dieser ersten, als „Kampf" bezeichneten Wechselwirkung von Theilen fand eine directe oder indirecte Benachtheiligung in der Selbsterhaltung des einen Theiles durch die Existenz und Weiterentwicklung des anderen statt, und die Folge war erstens bei diffuser Vertheilung der Lebensbedingungen das Ueberleben der

am kräftigsten sie ausnutzenden Qualitäten unter Vernichtung der weniger kräftigen, also eine Verminderung der ursprünglich vorhandenen Qualitäten; zweitens bei localisirter Lebensbedingung war die Folge eine vollkommene Ausgestaltung der stärksten Localisationsform dieser Bedingung, also eine formale Differenzirung. In beiden Fällen würde der eine Theil nicht zu Grund gegangen sein, wenn nicht der andere vorhanden gewesen wäre und ihn durch seine Existenz geschädigt hätte; in gleicher Weise wie unter den Individuen eine gute Stelle, wenn nicht ein tüchtigerer Bewerber vorhanden gewesen wäre, dem weniger tüchtigen zum Nutzen seiner und seiner Nachkommen zugefallen wäre; oder in Bezug auf die localisirte Begünstigung, wie die zufällig an einer Eisenbahn gelegenen Städte sich entwickeln, während die früher blühenden, aber bloss an einer Chaussee gelegenen Städte in der Concurrenz um den Erwerb mit diesen durch ihre Lage begünstigteren Concurrenten allmählich zurückgehen müssen und zugleich in dem Maasse, als sie abnehmen, dadurch wieder zur weiteren Entwicklung ihrer Concurrenten beitragen, in dem Maasse aber, als sie noch fernerhin, mit oder ohne Aufwand grösserer Anstrengungen sich erhalten, die Entwicklung dieser hindern. Man kann, da die Bezeichnung „Kampf“ vielfach Anstoss erregt hat, für derartige Wechselwirkung auch die Bezeichnung Concurrenz oder das gegenwärtig so beliebte Wort Wettbewerb gebrauchen; die Bezeichnung ist ja Nebensache; die Hauptsache ist, dass wir erkannt haben, dass derartige zur Theilauslese führende und damit das sog. Zweckmässige, das heisst: das Dauerfähige schaffende Correlationen innerhalb des Individuum vorkommen. W. Wundt sagt[1]), dass ich mit meinen darauf bezüglichen Erörterungen „solche Lebenserscheinungen, die man sonst gewohnt war, in ihren causalen Beziehungen aufzufassen“, bloss „in teleologische Formen umgedeutet“ hätte. Der Autor gibt vielleicht kund, wer die vorstehend erörterten Lebenserscheinungen vor mir „in ihren causalen Beziehungen zu erfassen gewohnt war“, und worin in meinen Ausführungen die „teleologische Umdeutung“ besteht.

1) W. Wundt, Logik Bd. 2 S. 437.

Ausser dieser Auslese als Folge des Kampfes oder der Concurrenz, also einer unmittelbaren oder mittelbaren Wechselwirkung der Theile untereinander, kann nun noch eine Auslese durch directe Ausmerzung ohne eine Wechselwirkung der Theile, unter denen ausgelesen wird, stattfinden, in gleicher Weise, wie aus einem Gemische von Eisen-, Messing- und Kupferspähnen mit dem Magnete alle eisernen Theile, oder durch Erhitzen aus einer Mischung von Substanzen alle flüchtigen Bestandtheile ausgesondert werden können. Solche Ausmerzung kann innerhalb des Organismus bei jeder Aenderung der Lebensmittel und äusseren Lebensumstände eintreten. So werden bei chronischem Nahrungsmangel ceteris paribus diejenigen Zellen, welche zu ihrer Erhaltung mehr Nahrung nöthig haben als die anderen, zunächst durch Verhungern eliminirt werden, und durch das alleinige Uebrigbleiben der mit weniger Nahrung erhaltungsfähigen Theile wird der Organismus zu einer Sparmaschine umgezüchtet werden. Oder bei chronischer Einwirkung von Giften (Blei, Arsenik) werden alle nicht widerstandsfähigen Theile ausgemerzt und die widerstehenden nebst ihren Nachkommen fernerhin allein den Organismus zusammensetzen, wie dies alles von mir schon mehrfach auseinandergesetzt worden ist. Immer muss bei solchen Aenderungen der Lebensumstände eine Aussonderung des dabei nicht Dauerfähigen, nicht weiter Selbsterhaltungsfähigen stattfinden; die dauerfähigen Theile dagegen bleiben allein übrig, werden zur ferneren Erhaltung „ausgelesen". Also die Qualitäten des Organismus, resp. des von der Alteration der Umstände allein betroffenen Organes, werden vermindert und so gleichmässiger, somit different von dem früheren Zustande des Organismus.

Alle diese erörterten Arten der Auslese können und werden häufig gleichzeitig stattfinden, auch bei Aenderung bloss einer Lebensbedingung. Wir hatten bei unserer gesonderten Betrachtung der möglichen Auslesearten stets die übrigen Verhältnisse als gleichbeschaffen vorausgesetzt, was in Wirklichkeit nicht der Fall zu sein braucht. Alsdann ist es denkbar, dass z. B. durch den functionellen Reiz Theile so gestärkt werden, dass sie sich vermehren und dabei ihre Nachbarn direct erdrücken oder als Nahrung verwenden, sie aufzehren (directer Kampf); andere Theile werden

vielleicht bloss so weit gekräftigt, dass sie bei der blossen Erhaltung ihres Volumens den anderen die nicht für alle ausreichende Nahrung vorwegnehmen (indirecter Kampf), oder aber manche Theile werden zufolge ihrer eigenen Natur durch den functionellen Reiz in ihrer Selbsterhaltungsfähigkeit geschädigt und daher direct ausgemerzt.

Diese Auslese des allein unter den gegebenen Verhältnissen Selbsterhaltungsfähigen und der Ersatz des nicht Dauerfähigen durch die Nachkommen des ersteren erhöht natürlich die Dauerfähigkeit des ganzen Individuum in den neu eingetretenen Verhältnissen; die Folge ist also eine Anpassung an diese Verhältnisse; und da dabei das Individuum als Ganzes erhalten bleibt, so erscheint uns diese Anpassung als eine directe, was sie auch in Bezug auf das Individuum ist. Aber man darf dabei nicht vergessen, dass diese directe und daher anscheinend teleologisch vermittelte Anpassung doch nur durch Auslese entstanden ist; wie nach Ch. Darwin die Anpassung der Art auf Kosten der Individuen, so entsteht die Anpassung des Individuum an seine Specialbedingungen auf Kosten seiner Theile.

Ich habe diese von mir schon mehrfach behandelten Arten von Correlationen hier aufs neue ausführlich dargelegt, weil, wie ich ersehen habe, dass Verständniss dieser Vorgänge auf grosse Schwierigkeiten gestossen ist, und weil ein klarer Einblick in die verschiedenen Möglichkeiten für die Verwendung des Principes der Theilauslese im Organismus bei der Deutung der Entwicklungsvorgänge unerlässlich nöthig erscheint.

Der wirkliche Antheil der Theilauslese an den Entwicklungsvorgängen kann natürlich nur durch specielle Untersuchungen und zumeist unter Anwendung besonderer erst noch zu erfindender Methoden festgestellt werden. Hier bei der ersten Uebersicht über die zur Zeit als möglich in Betracht zu ziehenden differenzirenden Correlationen kann bloss auf solche Denkmöglichkeiten hingewiesen werden.

Während der Entwicklung ändern voraussichtlich viele Theile ihre Beschaffenheit, indem sie zu den specifischen Geweben sich differenziren. Dabei kommt es vielleicht vor, dass Theile desselben

Gewebes in irgend einer für die Selbsterhaltung wichtigen Eigenschaft ungleich sind, so dass z. B. stärker wachsende, druckfestere Zellen andere in diesen Beziehungen schwächere direct hemmen oder ganz vernichten können; woraus dann eine vollkommenere Gleichartigkeit und höhere Selbsterhaltungsfähigkeit des ganzen Gewebes resultirt.

Ferner wechseln mit der weiteren Entwicklung die nachbarlichen Lebensumstände vieler Organe oder Organtheile und es werden diejenigen Bionten, welche in dieser Veränderung der Umgebung etwa nicht dauerfähig sind, direct absterben oder soweit geschwächt werden, dass sie von den stärkeren Theilen als Nahrung verwendet werden. Soweit solches unter den Zellen vorkommt, wird es sich mikroskopisch feststellen lassen und man kann wie J. Kollmann[1]) mit Recht erwähnt, schon die Aufzehrung der Dotterzellen durch die Zellen des Keimes in diesem Sinne auffassen; soweit es aber bloss lebende Zelltheile betrifft, wird es schwer nachweisbar sein. Wir wissen noch nicht, wie sich die Selbstdifferenzirung der Theile und die correlative Differenzirung der Theile gegen einander abgrenzen; aber soweit differenzirende Wirkungen von einzelnen Theilen auf ihre Umgebung ausgehen, können auch unter dieser alterirenden Wirkung nicht bloss latente Unterschiede dieser Theile in wahrnehmbare verwandelt werden, wie bei der Sichtbarmachung des photographischen Bildes durch Uebergiessen der Platte mit schwefelsaurem Eisenoxydul, sondern es kann mancher Theil unter dieser umändernden Einwirkung seine Selbsterhaltungsfähigkeit einbüssen, und so einfach ausgemerzt werden unter Uebrigbleiben der allein differenzirbaren und somit für die weitere Entwicklung brauchbaren Substanzen. Z. B. könnten an Stellen, wo öfters Zug einwirkt, von verschiedenen daselbst befindlichen Zellen bloss solche sich zu erhalten vermögen, welche sich durch Bildung zugfester Substanz, also faserigen Bindegewebes, gegen diese Einwirkung zu schützen vermögen; während da, wo neben Druck und Zug starke Verschiebung der Substanzschichten gegen einander (Abscheerung)

1) J. Kollmann, Der Randwulst und der Ursprung der Stützsubstanz. Arch. f. Anat. u. Entwick. von His u. Braune 1884 S. 382.

stattfindet, bloss Zellen übrig bleiben, welche durch Bildung von Knorpelgrundsubstanz, als des dazu geeignetsten Mittels, sich dagegen genügend zu schützen im Stande sind; noch empfindlichere Zellen können sich durch Bildung starrer Intercellularsubstanz Ruhe verschaffen, aber nur an Stellen, wo die für die Bildung dieser Substanz nöthigen Bedingungen: ein gewisser Schutz vor Abscheerung bei Wirkung reinen Druckes oder des Wechsels von reinem Druck und Zug sich finden.

So könnte an Stellen vermischten Muttergewebes doch ein durchaus gleichartig differenzirtes Gewebe entstehen; und dasselbe würde sich nach der Theorie von der functionellen Anpassung zugleich zu der zweckmässigsten, das heisst der Localisation dieser Beanspruchung vollkommen entsprechenden Gestalt formen; denn die Entstehungsbedingung würde die specifische Einwirkung sein, welcher Widerstand zu leisten zugleich die specifische Function dieser Gewebe ist.

Die Ossificationsweise der knorpelig präformirten Sceletttheile scheint manchen Fingerzeig nach dieser Richtung hin zu geben; besonders dadurch, dass die Knochenbildung im Mittelstück der länglichen Sceletttheile als ein peripherer Mantel, also an der Stelle geringster Abscheerung bei Biegung des Sceletttheiles, beginnt, und dass an den Enden die Ossification in der Mitte des Knorpelstückes, also wiederum an der Stelle geringster Abscheerung vor sich geht. Ferner scheint auch die Grösse der Epiphysen in einem bestimmten Verhältniss zur Wirkungssphäre der an den Gelenken bei der Bewegung entstehenden Abscheerung zu stehen. Da je nach der Excursionsgrösse des Gelenkes, nach der Form und Dicke des Sceletttheiles und nach der mittleren Grösse der Druckbelastung bei der Bewegung des Gelenkes ein mehr oder weniger grosses Stück des Knochenendes von den Abscheerungskräften erfasst und gegen das Mittelstück verschoben wird, so erklärt sich, dass z. B. am Kniegelenk dicke, am Ellenbogengelenk dünne Epiphysen sich finden, und dass die Epiphysen der Pfannen niedriger sind als die der Gelenkköpfe. Ebenso würde es verständlich sein, dass mit dem Wachsthum des Epiphysenkernes die Gegenabscheerung gegen die Diaphyse hin sich immer mehr auf eine dünne Schicht concentrirt,

und dass von beiden Abscheerungsflächen jeder Epiphyse das stärkste Wachsthum an derjenigen stattfindet, welcher es nicht an Blut mangelt. Ebenso lässt sich die Gestalt und Localisation der meisten Apophysen (so z. B. am Becken, am Schulterblatt, an den Wirbeln) diesem für die Epiphysen erörterten Gesichtspunkte unterordnen; die intermediären Epiphysen- und Apophysenlinien würden die Localisationsstellen der stärksten Abscheerung, also diejenigen Stellen bezeichnen, wo die stärksten Verschiebungen paralleler Substanzschichten gegen einander stattfinden. Da Abscheerung der specifische Thätigkeitsreiz der Chondroblasten sein würde, so verstünde es sich von selber, dass an diesen Stellen das stärkste Knorpelwachsthum stattfände. Ferner erklärt sich bei unserer Annahme der Umstand, dass auch die Enchondrome und die Ekchondrosen von innen aus verkalken und ossificiren.

Es leuchtet ohne Weiteres ein, dass diese Ableitung der Bildung der Sceletttheile ebenso zulässig ist, wenn die specifischen Bindesubstanzen nicht durch Auslese aus vermengten Blastemen entstehen, sondern wenn dieselben aus einem gemeinsamen Urblastem hervorgehen, welches schon durchweg die Eigenschaft mitbringt, auf die geschilderten specifischen Einwirkungen hin diese specifischen Gewebe hervorgehen zu lassen; und dass es dafür auch unwesentlich ist, ob die specifische Intercellularsubstanz von den Zellen aus gebildet wird oder direct in der Intercellularsubstanz des Urblastemes[1]) in Folge des Reizes sich bildet. Auch die noth-

---

1) Für Abhängigkeit der Bildung des Bindegewebes und des Knorpels von äusseren Einwirkungen auf das Urblastem (den parablastischen Gewebekeim) hat sich schon His (Die Häute und Höhlen des Körpers 1865 S. 27, und Körperform 1874 S. 128) und zwar sehr apodiktisch ausgesprochen; dabei sind aber die specifischen functionellen Reize dieser Gewebe, welche er doch wohl gleich mir als die Bildungsursachen hat supponiren wollen, nicht ganz zutreffend bezeichnet. So lässt er Bindegewebe ausser durch Zug auch noch durch Druck entstehen, obgleich es sich im normalen Individuum bloss da findet, wo entweder reiner Zug stattfindet oder wo die Verhältnisse derartig sind, dass einwirkender Druck sich in Zug umsetzen muss; Knorpel entsteht nach ihm da, wo gleichmässiger Druck oder Zug seitens der Nachbartheile auf die parablastischen Massen wirkt, nach H. Strasser (Entwicklung der Extremitätenknorpel 1879 S. 18) durch Druck und Zug, während M. Kassowitz (Die normale Ossification 1879 S. 206) schon Druck mit Reibung und Verschiebung als den specifischen Lebensreiz des

wendige Reihenfolge des Auftretens der Gewebe bleibt dabei dieselbe. Ein noch halb flüssiges Gewebe kann weder rein auf Zug noch auf Druck in Anspruch genommen werden, denn die Substanz wird bei den Einwirkungen nachgeben und es wird starke Verschiebung benachbarter Substanzschichten gegen einander, Abscheerung, eintreten. Jede Einwirkung wird sich in unendlich viele Beanspruchungsrichtungen zerlegen, und es muss bei Zug daher zunächst ein Gewebe mit verwirrten Fasern in dem weichen Grundgewebe entstehen; und nur bei von Anfang an immer derselben Zugrichtung und schon geeigneterer Beschaffenheit des Urblastemes kann relativ früh ein rein in der Zugrichtung gelegenes specifisches Gewebe sich bilden. Bei Druck auf ein weiches Gewebe entsteht starke Abscheerung, also ist die Bedingung für Knorpel gegeben und erst nach dessen genügender Ausbildung kann, in Folge der ungleichen Localisation der Abscheerung, an den geschilderten Stellen der Verringerung der Abscheerung, zunächst die Knorpelverkalkung, dann die geflechtartige Knochenbildung und nach dadurch hergestellter noch grösserer Reinheit der Zug- und Druckbeanspruchung die Bildung lamellösen Knochens einsetzen und letztere dann successive weiter schreiten, indem durch die vorhandene Knochenlage immer eine nächste Nachbarschicht ruhig gestellt wird, bis endlich die Stellen stärkster Abscheerung erreicht werden und damit die Möglichkeit der Functionsberaubung des Knorpels durch den Knochen vorläufig ihr Ende erreicht.

Knorpels erkannt und sorgfältig begründet hat; dagegen gibt lezterer Autor bezüglich der Ursachen der Knorpelverkalkung und jeder Art von Knochenbildung diesen Gesichtspunkt vollkommen auf und behauptet (a. a. O. S. 348), dass in letzter Instanz doch immer das periostale und endostale Gefässystem allein die äussere Form und die innere Architektur der Knochen bestimmten, und Murisier (Experim. Pathologie Bd. 3) lässt Knochen durch Zug an dem Periost gebildet werden. Die allgemeinen Gesichtspunkte dieser Auffassung habe ich bereits, ehe ich die Ansichten dieser Autoren kannte, ausführlicher entwickelt (Kampf der Theile 1881 S. 176), mich daselbst aber noch der oben (S. 499) gegebenen Definition der specifischen Functionen der einzelnen Bindesubstanzen enthalten. Die ersten Keime derartiger Ableitung der Bindesubstanzbildung finde ich bei Ludwig Fick (Ursachen der Knochenformen 1857), welcher auch schon (S. 9) „äusserste Ruhe und Abwesenheit aller Bewegung“ (richtiger: „Verschiebung“) als Vorbedingung der Knochenbildung für nöthig erachtet.

Trotz der Uebereinstimmung der so abgeleiteten Prädilectionsstellen mit den wirklichen Anfangsstellen der Knochenbildung und trotz des Umstandes, dass die Bindesubstanzbildung im Embryo den von uns als nothwendig vorgezeichneten Weg in der That einhält, sprechen doch sehr gewichtige Thatsachen gegen die Gültigkeit unserer Ableitung für die embryonale Entwicklung. So einmal das Vorkommen ziemlich wohlgebildeter Phalangen in solchen sechsten Fingern, welche bloss durch Haut, Nerven und Gefässe mit der Hand verbunden sind (und ich möchte nicht wagen, ohne besondere Untersuchungen anzunehmen, dass an diesen Stellen von den Muskeln kommende Sehnen erst nachträglich geschwunden seien); ferner das Vorkommen von ziemlich wohlgeformten Knorpeln, Knochen und Sehnen in muskellosen Extremitäten (Allessandrini, E. H. Weber), sowie in Epignathis, in Sacralteratomen, in Amorphis, die Bildung der Reit- und Exercirknochen, sowie die Myositis interstitialis ossificans progressiva und die Ossification der Vogelsehnen. Besondere darauf gerichtete Untersuchungen werden erst die Entscheidung über den wahren Werth dieser Einwendungen zu bringen haben; dabei wird sich auch zeigen, ob in diesen selbständig entstehenden Scelettheilen die Gewebe vollkommen normal gesondert sind, oder ob sich vielleicht atypische Gewebsvermischungen in ihnen besonders häufig vorfinden.

Es scheint, was Gegenbaur[1]) bezüglich der Entstehung der Gelenke bemerkt, allgemeinere Geltung zu haben; nämlich dass in der embryonalen Entwicklung Theile selbständig angelegt und bis zu einem functionsfähigen Grade ausgebildet werden, welche phylogenetisch durch functionelle Anpassung (Kampf der Theile oder andere Ursachen) ausgebildet worden sind, und weiterhin scheinen mir die functionellen Reize bloss noch für den Rest der Entwicklung, der in das eigentliche functionelle Leben selber fällt, nothwendig zu sein, wie ich das schon bei früherer Gelegenheit ausführlicher erörtert habe[2]). Unsere obige Ableitung kann darnach nur mehr eine phylogenetische Bedeutung beanspruchen

1) C. Gegenbaur, Lehrbuch der Anatomie des Menschen 1883 S. 113.
2) Der Kampf der Theile etc. S. 52 u. S. 180.

und weiterhin vielleicht für das eigentliche functionelle Leben des Individuums, sowie für die Heilung der Knochenbrüche den Zusammenhang der Entwicklungsvorgänge bezeichnen, während die Periode der ersten Anlage und der ihr folgenden weiteren Ausbildung der Organe von selbständigen, d. h. den sich differenzirenden Theilen selber innewohnenden Bildungsenergien beherrscht ist, die nur in den allgemeinen Zügen die von uns charakterisirten Bildungen nachahmen, aber in den Feinheiten: in den Richtungen der Bälkchen der Wachsthumsarchitektur, in der Gestalt der Epiphysenlinien etc. mannigfache Abweichungen erkennen lassen; und für diese Periode haben vielleicht die Auffassungen Kassowitz' ihre Gültigkeit.

Eine dritte seit längerem als mitbetheiligt bei der embryonalen Entwicklung erkannte, aber gleichfalls in ihrem Wirkungsumfang noch nicht annähernd bestimmte Art differenzirender Correlation ist die **mechanische Massencorrelation**, welche sich als nothwendige Folge theils des continuirlichen Zusammenhangs, theils des räumlichen Zusammengedrängtseins ungleich sich vergrössernder, verkleinernder oder sich umordnender Theile darstellt. Um dieses Princip richtig zu verstehen und seine Wirkungen von denen der von uns sog. formalen Selbstdifferenzirung sondern zu können, muss etwas weiter ausgeholt und eine theoretische Skizze der Formenbildung vorausgeschickt werden, welche aber unserem gegenwärtigen beschränkten, bloss auf die Topographie der Ursachen gerichteten Zwecke angepasst sein soll.

Eine der Betrachtung unterworfene Summe materieller Theilchen heisst ein materielles System. Die Gesammtheit aller gegenwärtigen Lagerungsbeziehungen dieser Theilchen heisst die Configuration des Systemes. Unter der Form des Systemes dagegen ist die gegenseitige Lagerung aller die Oberfläche des Systemes bildenden Theile zu verstehen.

Sofern es uns bloss um die Kenntniss der jeweiligen Lagerung der die Oberfläche bildenden Theile des Systemes zu thun ist, kann die Form desselben für sich betrachtet werden; wenn wir aber auch nach der genauen Kenntniss der eventuellen Formwandlungen

streben, zugleich aber keine Garantie gegeben ist, dass immer dieselben Theile die Oberfläche bilden, sondern wenn es möglich ist, dass bei den Wandlungen auch innere Theile an die Oberfläche gelangen oder oberflächliche Theile in die Tiefe treten, so wird es für das Verständniss auch der blossen Formwandlungen nöthig sein, immer zugleich auch die Anordnung der inneren Theile, also im Gegensatz zur Form die Structur des Systemes mit in den Bereich der Betrachtung zu ziehen. Dies wird um so unerlässlicher, wenn zugleich auch die Erforschung der Ursachen der Formwandlungen das Ziel der Untersuchung sein soll. Es kann vorkommen, dass die Ursachen der Formänderung bald mehr in den oberflächlichen oder mehr in den inneren Theilen liegen; immerhin werden wir uns zu bestreben haben, die Configuration aller Theile des Systemes in jeder Phase der Wandlung zu kennen und die Bahnen aller Theile zu verfolgen.

Jede Formbildung ist bloss eine Aenderung der früheren Anordnung der die neue Oberfläche des Systemes bildenden Theile, und ebenso ist jede neue Configuration bloss als die Aenderung einer früheren Lagerungsbeziehung der Theile des Systemes zu betrachten und abzuleiten. Die Lageänderung von Theilen zu einander vollzieht sich durch Bewegung eines oder mehrerer oder aller Theile.

Jede Aenderung des Bewegungszustandes eines Theiles kann nur unter Mitwirkung einer von aussen auf den Theil wirkenden Kraft hervorgebracht werden und nur unter einer der ihm ertheilten Beschleunigung gleich grossen und entgegen gerichteten Reaction. Wirkung und Gegenwirkung bilden zusammen ein dynamisches System.

Zwei Theile können entweder in der Richtung ihrer Verbindungslinie eine Aenderung ihrer gegenseitigen Lage erfahren, oder zugleich resp. ausschliesslich senkrecht zu dieser Linie gegen einander verschoben werden. Die Aenderung in der Richtung der Verbindungslinie, Näherung oder Entfernung, kann entweder durch die den Theilen selbst innewohnenden Kräfte bedingt sein, und ist dann als vollkommene Selbstdifferenzirung zu bezeichnen; beide Theile bilden dann für sich ein dynamisches System. Oder

von aussen einwirkende Kräfte bringen diese Veränderung allein oder zum Theil hervor, wobei eine der Grösse des überwundenen Deformationswiderstandes entsprechende Vermehrung der Energie des durch die beiden Theile gebildeten Systemes stattfindet; und die Aenderung selber ist als correlative Differenzirung zu bezeichnen. Das dynamische System dieser Veränderung umfasst ausser den beiden Theilchen noch die Theilchen, welche die Träger der zur Wirkung gelangten Aussenkraft gewesen sind. Die gegenseitige Lageänderung der Theile in jeder zu ihrer Verbindungslinie senkrechten Richtung (Verschiebung oder Abscheerung der Theile) kann natürlich nur durch äussere Kräfte hervorgebracht werden. Aeussere Kräfte können je nach ihrer Wirkung auf die beiden Theile sowohl ausserhalb wie auch innerhalb der Verbindungslinie der Theilchen gelegen sein.

Damit haben wir die Grundvorgänge für unsere zunächst bloss topographisch causale Betrachtung genügend unterschieden und zugleich die spätere Beziehung auf die bei den Aenderungen zu überwindenden Widerstände gegen Zug, Druck und Abscheerung angebahnt.

Also nur Näherung und Entfernung der Theile kann durch Selbstdifferenzirung in unserem Sinne entstehen, Abscheerung der Theile gegen einander, gleich wie Drehungen und Verschiebungen des ganzen Systemes können nur als passive Differenzirungen erzeugt werden. Doch können diese passiven Veränderungen zum Theil sofort als Selbstdifferenzirungen erscheinen, sofern wir den Umfang des betrachteten Systemes so erweitern, dass die vorher äusseren Kräfte jetzt mit zum System gehören.

Untersuchen wir nun mit Rücksicht auf unseren speciellen Zweck, *durch welche Configurationsänderungen anscheinend dieselbe complicirte Formänderung hervorgebracht werden kann*, und zweitens, *durch welche verschiedenen Anordnungen der Kräfte diese Configurationsänderungen bedingt sein können.*

Nehmen wir als Beispiel eine complicirte Formänderung derjenigen Art, wie sie in der embryonalen Entwicklung häufig vorkommen, eine Faltung. Es wird genügen, die Biegung eines schmalen,

parallel contourirten Stabes aus elastischer Substanz zu untersuchen.

Dieser Stab kann erstens rein passiv durch äussere Kräfte gebogen werden, indem wir denselben am einen Ende in einen Schraubstock spannen und am anderen Ende senkrecht zur Oberfläche eine Kraft wirken lassen, oder auch, indem einfach beide Enden des Stabes gegeneinander gedrängt werden. Die Formänderung wird bei genügender Elasticität des Stabes in beiden Fällen für die flüchtige Betrachtung fast ganz die gleiche sein, und die Configurationsänderung ist der Hauptsache nach gemeinsam dadurch charakterisirt, dass auf der convexen Seite die Theile in der Biegungsrichtung von einander entfernt werden und zwar mit von aussen noch innen abnehmender Intensität, während auf der concaven Seite die Theile mit nach aussen zunehmender Intensität einander genähert werden. Die Aussenkräfte vermehren die Energie des Stabes und bilden mit den Widerständen der Innenkräfte ein dynamisches System.

Genauer untersucht wird aber sowohl die äussere Gestalt wie die innere Structur des gebogenen Stabes in beiden Fällen in charakteristischer, auf die ungleichen Entstehungsursachen der Biegung hindeutender Weise verschieden sein; sowohl an den Angriffsstellen der Kräfte wie auch im übrigen Verlaufe des elastischen Stabes. Die Ungleichheiten an den Angriffsstellen kann man mit Hilfe der von mir angegebenen Methode der mechanischen Selbsterzeugung der Trajectorien[1]) evident sichtbar machen; die Verschiedenheiten in dem Verbindungsstücke zwischen den Angriffsstellen treten mit dieser Methode wohl auch, aber weniger deutlich hervor; sie lassen sich indes leicht berechnen und bestehen im Wesentlichen darin, dass die neutrale Zone, wo Dehnung und Compression sich gegen einander abgrenzen, im letzteren Falle mehr gegen die convexe Seite hin verschoben ist, weil die Compression die Dehnung überwiegt. Wenn am einen Ende des Stabes die Aussenkräfte wegfallen, nimmt derselbe wieder seine gestreckte Gestalt an. Es gibt

1) W. Roux, Beitr. z. Morph. d. funct. Anpassung: 3. Beschreibung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenksanchylose. Arch. f. Anat. u. Phys., anat. Abth. 1885.

ausser den erwähnten beiden Arten der Vertheilung der äusseren Kräfte noch unendlich viele Combinationen von Aussenkräften, welche im Grossen dieselbe Biegung hervorbringen können. So z. B. können die Kräfte auf den beiden Längsseiten des Stabes in verschiedenster Weise vertheilt sein; und es würde kaum im Bereiche der Möglichkeit liegen, selbst durch die genaueste Betrachtung bloss der äusseren Form diese Anordnung genau zu bestimmen; während die Kenntniss der ganzen Configuration dies mit grösserer Sicherheit gestatten würde; sofern bekannt wäre, dass die Aenderung überhaupt bloss die Wirkung äusserer Kräfte ist.

Eben dieselbe Formänderung kann aber auch aus der Wirkung von Kräften, welche den Theilen des Stabes innewohnen, entstehen. Wenn z. B. auf der einen Längsseite alle Theile sich stärker anziehen und daher activ einander nähern, auf der anderen Seite aber einander abstossen und sich von einander entfernen, so wird der Stab sich nach ersterer Seite hin concav biegen. Bei geeigneter Vertheilung dieser anziehenden und abstossenden Kräfte könnten sogar auch an denjenigen Stellen, welche die Angriffsstellen bei der passiven Deformation bildeten, ganz dieselben Configurationen der Theile entstehen wie bei der passiven Deformation, nur müssten dann vorliegenden Falles die unendlich zahlreichen Verschiedenheiten in der Kraftvertheilung alle einzeln durch besondere Kraftgrösse der Theilchen bedingt sein, während sie passiven Falles alle mit einem Male von bloss zwei Ursachen aus erzeugt werden. Würden wir eine derartige Uebereinstimmung in der Configuration vieler Theilchen gefunden haben, dass sie alle von bloss zwei Ursachen ableitbar wären, so würden wir wohl eine gewisse Neigung hegen, zwei entsprechende Kräfte auch als die Ursache derselben anzunehmen. Die gegenwärtige Erörterung weist uns aber darauf hin, dass mit dieser Annahme die Entstehungsmöglichkeiten noch nicht erschöpft sind.

Je nach der Anordnung und Natur der den Stab biegenden inneren Kräfte könnte die Vertheilung von Wirkung und Gegenwirkung derartig sein, dass z. B. bei der geringsten Verletzung des aus eigenen Kräften gebogenen Gebildes dasselbe in seinem ganzen Verlaufe sich wieder mehr oder weniger streckt, ähnlich wie eine

Bologneser Glasthräne beim Abbrechen ihrer Spitze ihre ganze Gestalt total verliert (wobei sie sich in zahllose Stückchen zersplittert). Solches Verhalten würde ein Zeichen sein, dass der ganze gebogene Stab ein einziges dynamisches System bildet. Andererseits könnte vielleicht z. B. bloss ein Drittel des Stabes nach Verletzung sich strecken, und das Gleiche bei weiterer Verletzung des noch gebogenen Theiles eintreten. Diese durch eine Verletzung entspannten Systeme könnten sich allemal nach beiden Seiten von der Verletzungsstelle gleich weit verbreiten, oder aber eine feste Lagerung am Stabe haben, derart, das bei Verletzung irgend einer Stelle, z. B. des mittleren oder eines äusseren Drittels, immer dieses ganze Drittel sich streckt, wonach dann der ganze Stab als aus drei geschlossenen, für sich bestehenden und bloss aneinander gereihten Systemen gebildet, aufzufassen wäre. Oder umgekehrt, der gebogene Stab lässt sich in beliebig kleine Stückchen zerlegen, ohne dass eines derselben seine der Biegung des Ganzen entsprechende Gestalt ändert, ein Beweis, dass in jedem kleinsten Stückchen die Kräfte sich im Gleichgewichte befinden, dass die Bezirke von Wirkung und Gegenwirkung unendlich klein sind.

Ferner könnte dieselbe Form des Stabes durch Thätigkeit innerer Kräfte bloss auf einer Längsseite stattfinden. Indem z. B. auf einer Seite alle Theile sich gegenseitig mit der nöthigen Kraft anziehen, werden sie unter passiver Dehnung der anderen Seite das Gebilde gleichfalls krümmen. Der Stab zerfällt dann in einen Bezirk der Selbstdifferenzirung, welcher zufolge seines Zusammenhanges mit einem anderen Bezirke diesen passiv deformirt; die Aenderung des ganzen Stabes ist gleichwohl aber als Selbstdifferenzirung zu bezeichnen. Für die äussere Betrachtung wird es nicht möglich sein, den Sitz der activen Deformation zu ermitteln; schneiden wir aber den Stab auf der concaven Seite an, so wird er sich an dieser Stelle strecken; wird er auf der convexen Seite angeschnitten, so wird er sich an der Verletzungsstelle noch stärker krümmen und uns so einen Schluss auf die Vertheilung der deformirenden Kräfte gestatten. Ist aber das Material nicht genügend elastisch, so wird sich die passiv deformirte Zone an die Deformation innerlich anpassen, und der Effect beim Anschneiden bleibt aus. In

gleicher Weise kann der Stab durch active Ausdehnung einer Seite gebogen werden, wobei natürlich die Sehne des gebildeten Bogens eine etwas grössere sein wird als im umgekehrten Falle. Auch bei dieser correlativen inneren Differenzirung können geschlossene dynamische Systeme gebildet werden, je nach Anordnung der activen Kräfte, so dass die Biegung gleichsam so erfolgt, als hätten sich in einer in gerader Linie aneinander gefügten Reihe von Bausteinen alle Steine nach derselben Seite hin keilförmig zugeschärft; dies z. B. wenn ein Theil der Massentheilchen einer Längsseite gegen die andere hin translocirt worden ist.

Dieselbe Biegung des Stabes kann natürlich auch durch Combination äusserer und innerer Kräfte hervorgebracht werden. Strebt z. B. der Stab sich der Länge nach auszudehnen und wird daran durch seitliche Widerlager gehemmt, so entsteht ein Bogen, an dessen Bildung beide Ursachen gleichen Antheil haben, so dass die Unterscheidung von Vorbedingung und specifischer Ursache nicht zu machen ist. Hat aber der Stab eine dünne Stelle, welche sich daher am stärksten biegt, so ist für diese Ungleicheit der Biegung die specifische „Ursache“ also innerhalb des materiellen Systemes gelegen, und die Aussenkräfte waren bloss die „Vorbedingung“ dieser specifischen Biegung. Auch in diesem Falle wird beim Wegfall der Aussenkärfte der elastische Stab sich wieder strecken.

Es erhellt aus dieser kurzen Uebersicht, dass es ausserordentlich schwer sein wird, aus der blossen Beobachtung einer Formänderung auf die Vertheilung der Ursachen derselben zu schliessen, und dass eine positive Gewissheit durch diese im wahren Sinne des Wortes „oberflächliche“ Methode überhaupt nicht zu gewinnen ist. Eine etwas grössere Wahrscheinlichkeit richtiger Beurtheilung wird durch die Hinzunahme der Betrachtung der inneren Umordnungen angebahnt.

Die organischen Gebilde, deren Formwandlungen wir zu untersuchen haben, besitzen durch ihre Zusammensetzung aus lauter einzelnen Bausteinen, den Zellen, in der Gestalt und Anordnung dieser Elemente eine Structur, deren Veränderungen bei gehöriger Vorsicht manche Schlüsse auf die Ursachen stattfindender Deformationen der aus ihnen zusammengesetzten Gebilde gestatten. Je

nach der Richtung und Vertheilung der umgestaltenden Kräfte, nach dem Lageverhältniss der activen und passiven Theile zu einander, wird diese Structur durch verschiedene Umgestaltung und Umordnung der Elemente eine verschiedene Aenderung erfahren können. In der genauen Verfolgung dieser Aenderungen ist somit ein Mittel gegeben, einen weiteren Einblick in den eigentlichen Vorgang der speciellen Formbildung zu erlangen und gewisse Schlüsse auf die Localisation und Richtung der die Bildung bewirkenden Kräfte zu ziehen. Es war daher ein grosser Fortschritt unserer Kenntniss und Erkenntniss dadurch angebahnt worden, dass His[1]), welcher zuerst die mechanische Correlation als ein wichtiges formbildendes Princip der individuellen Entwicklung in ausgedehntem Maasse zur Erklärung verwandt hat, auch zuerst die Beschaffenheit der Structur in solchem Sinne beobachtete und verwerthete, worin ihm dann H. Strasser[2]) u. A. nachgefolgt sind. Bis jetzt hat sich indes diese Verwerthung bloss auf die einfachsten ohne eine besondere Theorie verständlichen Bildungen beschränkt. Bei der in den Organismen vorhandenen, durch Wachsthum, Vermehrung, Wanderung, passive und vielleicht auch noch active Gestaltung der Zellen gegebenen grossen Zahl von Möglichkeiten, wird die weitere Ausnutzung dieses Principes mit grossen Schwierigkeiten verbunden sein und nicht ohne eingehende analytische Untersuchung möglich sein.

Wir sahen, dass durch Ausdehnung oder Zusammenziehung von circumscripten Theilen einer grösseren Masse, diese letztere auf grössere Strecken hin oder in ihrer Totalität deformirt werden kann. Die passive Umformung von Theilen durch activ sich ändernde, sowie auch die passive Formung activ sich ändernder Theile durch äussere, der intendirten Aenderung Widerstand leistende Theile wollen wir als „mechanische Massencorrelation“ bezeichnen.

Es ist nun die Frage, ob, und eventuell, wie weit solche Correlationen bei der embryonalen Entwicklung vorkommen und form-

1) W. His, Unsere Körperform 1874.

2) H. Strasser, Zur Entwicklung der Extremitätenknorpel bei Salamandern und Tritonen. Morphol. Jahrbuch 1879 Bd. 5.

bildend thätig sind. Ungleiche Vergrösserung zusammenhängender, rings umschlossener Theile ist von His vielfach nachgewiesen; also müssen Faltenbildungen u. dergl. gleichfalls stattfinden. Daraus folgt nun aber noch nicht, dass die Falten passiv durch einen äusseren Ausdehnungswiderstand erzeugt worden seien, sondern es kann mit der Vergrösserung zugleich aus eigenen inneren Kräften das Material sich so umordnen, dass es sich von selber biegt, wie vorstehend ausführlich erörtert worden ist; dabei wird dann der Widerstand der Seitentheile gar nicht für die Deformation in Anspruch genommen, sondern, was wohl davon zu trennen ist, nur für die Rückwirkung der eventuell dabei stattfindenden Verschiebung des Massenmittelpunktes des sich umformenden Theiles. Sofern aber die Ausbiegung nur durch den seitlichen Dehnungswiderstand bedingt ist, so muss die Biegung eine ganz bestimmte von der Elasticitätsgrösse des Materiales an jeder Stelle, ferner von der Dicke dieser Stellen u. s. w. abhängige werden. Sofern eine Uebereinstimmung der Biegungsform mit diesen Factoren nicht vorhanden ist, ist dies ein Beweis, dass wenigstens noch andere Kräfte als der äussere seitliche Widerstand die Formbildung beeinflusst haben müssen.

Die Versuche, welche ich bisher zur Entscheidung dieser Fragen gemacht habe, sind noch sehr wenig zahlreiche und hatten zumeist bloss den Zweck, die thatsächliche Richtigkeit einiger bezüglicher Angaben von W. His zu prüfen.

His leitet seine bezüglichen Urtheile nur aus descriptiven Beobachtungen der Vorgänge und aus einem directen Experimente am Keime ab, durch welches er feststellte, dass die Keimblätter elastisch sind. Er bestimmt die formalen Vorgänge möglichst genau durch Zeichnung und Messung und sucht dann nach der einfachsten Ursache, durch welche die Formwandlungen hervorgebracht werden kann. Die einfachste Ursache einer Biegung bilden, wie wir gesehen haben, äussere biegende Kräfte und nächstdem die Ausdehnungshemmung durch äussere Widerstände. So kommt His dahin, die meisten Formen von derartigen, ausserhalb der geformten Theile gelegenen, Ursachen abzuleiten (Körperform, Brief 4—6).

So empfehlenswerth es im Allgemeinen ist, nach den einfachsten Ursachen einer Erscheinung zu suchen, so ist es in ganz neuen Verhältnissen, wie bei den in ihrem Wesen noch unbekannten embryonalen Vorgängen, doch sehr gewagt, die einfachsten Ursachen ohne Weiteres auch für die realen Ursachen anzusehen.

Ausserdem aber gilt der Satz von der einfacheren Erzeugung von Biegungsformen durch äussere Kräfte nur für die regelmässigsten Formen und auch da nur sehr bedingt. Sobald es sich aber um die Herstellung ganz bestimmter complicirter Formen handelt, werden die Bedingungen für die äusseren Kräfte und für die Beschaffenheit des umzuformenden Materiales ebenso complicirte oder leicht noch complicirtere, als für die Gestaltung durch den zu formenden Theilen selber innewohnende Kräfte. Um innerhalb einer Platte eine ganz bestimmt geformte Ausbiegung durch ausserhalb der Biegungsstelle aber noch in der Platte selber gelegene Kräfte hervorzubringen, wäre neben einer sehr bestimmten und entsprechend mannigfachen Vertheilung dieser Aussenkräfte eine ebenso bestimmte und mannigfache Beschaffenheit des zu formenden Plattentheiles in seiner Dicke und Elasticität nothwendig; und bei der geringsten Aenderung dieser Eigenschaften des zu biegenden Theiles würde derselbe eine andere, atypische Form erlangen. Dieses Princip der Gestaltung ist somit ein sehr unsicheres und wird in der Technik deshalb für sich allein nicht verwandt. Dasselbe gilt aber auch für die Biegung sich ausdehnender Theile durch Stauung gegen äussere Widerstände.

Die Dicke und Elasticität der Theile werden zwar von His bei der allgemeinen Erörterung der Formbildung als wichtige Componenten aufgeführt, aber bei der speciellen Ableitung der einzelnen Formen wird die erstere nicht genügend, die letztere gar nicht speciell berücksichtigt. So wird nicht gewürdigt, dass bei den wichtigsten Biegungen, denen zur Bildung der Medullarfalten zum Schluss des Medullarrohres, ferner bei der Bildung der Kopfanlage die Biegung gerade an den dicksten Stellen der Platte stattfindet, während doch, bei passiver Erzeugung der Biegung durch Ausdehnungswiderstand, die Biegung ceteris paribus an den dünnsten Stellen erfolgt. So spricht His noch in seiner jüngsten bezüglichen

Abhandlung[1]) von einer mechanischen Verdünnung der ventralen Wandung des Medullarrohres bei der Erhebung der Seitentheile des letzteren zum Schlusse des Rohres. Darnach müsste die Erhebung der Seitentheile passiv erfolgen, was im vorderen Theile des Medullarrohres nur durch einen Druck von Seiten des daselbst fünfmal dünneren Hornblattes möglich wäre. Die Substanz des Hornblattes müsste deshalb eine etwa 25mal grössere Elasticität besitzen als die der ventralen Wandung des Medullarrohres, eine Voraussetzung, welche jedenfalls besonders zu beweisen wäre. Desgleichen ist kein Versuch gemacht, die bei solchen passiven Formungen entstehenden, weit ausgebreiteten Spannungen innerhalb der Platte, deren His zwar gedenkt, wirklich nachzuweisen.

Hat His mit Recht aus seinen genauen Messungen über das ungleiche Wachsthum der Theile auf die Nothwendigkeit eintretender Biegungen geschlossen, so konnte er natürlich nicht soweit gelangen, nachzuweisen, dass gerade im Einzelnen diejenigen Formen entstehen mussten, welche dem betreffenden Embryo eigen sind; indem aber die Schlüsse bis auf diese speciellen Formen ausgedehnt werden, kommt in die Conclusio eine Bestimmung, die in der Prämisse nicht enthalten war. Er übergeht ferner, dass der Causalnexus der von ihm ermittelten Massenumlagerungen, wie aus unserer obigen allgemeinen Darlegung hervorgeht, auch gerade der umgekehrte von dem seinigen sein kann; indem nämlich die Tendenz zur Biegungsformation einer Stelle gerade das Primäre sein und in ihrer Bethätigung vielleicht sogar passiv durch Dehnung das nöthige Wachsthum der Umgebung veranlassen kann; und dass zwischen diesen beiden extremen Fällen eine unendliche Reihe von Möglichkeiten liegt, über deren realen Antheil an der Entwicklung nur das Experiment, nie aber die Messung der stattfindenden Massenumlagerungen entscheiden kann; denn diese Massenumlagerungen können, wie wir gesehen haben, in Bezug auf das Umgelagerte ebensowohl active wie passive sein. Eine derartige Auffassung ist schon in der Ausführung Pander's[2]) enthalten, welcher sagt, dass

1) W. His, Ueber das Auftreten der weissen Substanz und der Wurzelfasern am Rückenmark menschlicher Embryonen. Arch. f. Anat. u. Entwicklungsgesch. 1883 S. 165.

2) Pander, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Hühnchens. 1817 S. 40

seine Leser sich, „wo von den Faltungen der Keimhäute die Rede ist, nicht leblose Membranen vorstellen sollen, deren mechanisch gebildete Falten nothwendig sich über die ganze Fläche verbreiten, ohne sich auf einen bestimmten Raum beschränken zu lassen; denn dieses müsste unvermeidlich zu irrigen Ansichten führen. Die die Metamorphose der Häute bedingenden Falten sind vielmehr selbst organischen Ursprungs und bilden sich an dem gehörigen Orte, sei es nun durch Vergrösserung der dort schon vorhandenen oder durch ein Hinzutreten neuer Kügelchen, ohne dass dadurch der übrige Theil der Keimhäute verändert würde".

Wenn ich hier im Einzelnen den Ausführungen His' mehrfach entgegengetreten bin, so will ich nicht unterlassen zugleich auszusprechen, dass ich trotzdem das grosse Verdienst zu würdigen weiss, welches His sich durch sein energisches Bestreben und die sorgfältige Arbeit für die Begründung einer causalen Auffassung und Erkenntniss der individuellen Entwicklungsvorgänge erworben hat.

Um den Embryo direct auf die eventuellen, bei passiver Biegung entstehenden, über grosse Flächen verbreiteten Spannungen zu prüfen, zerschnitt ich lebende Froschembryonen im Stadium der Medullarfurche quer und der Länge nach in viele Stücke; an keinem Stücke aber war eine Formänderung wahrnehmbar. Dasselbe war, wie vorn erwähnt, bei den grossen Entspannungsschnitten und bei der Bildung von Zungenlappen an noch weiter lebenden Embryonen der Fall, soweit nicht zugleich passive Deformationen künstlich hervorgebracht worden waren; auch hier fand keine Ausgleichung der Medullarfalten statt. Dies beweist, dass die so hergestellten Theile dieser Formen in innerem Gleichgewichte sich befanden. Daraus folgt aber noch nicht, dass sie nicht durch passive Umformung entstanden seien. Denn sofern eine sehr vollkommene Anpassungsfähigkeit des Materiales an solche passive Umformung vorhanden ist, so braucht in jedem Momente nur ein minimaler Ueberschuss von Zwang vorhanden zu sein.

Zur Prüfung auf derartige, hochgradige Anpassungsfähigkeit des Embryo wurden die Embryonen innerhalb ihrer Gallerthülle durch Einklemmen zwischen Nadeln verbogen. Wenn die Nadeln nach der Deformation sofort wieder entfernt wurden, so nahm der Embryo sogleich wieder seine frühere Gestalt an; blieben sie da-

gegen nur einige Stunden stecken, so war die Deformation schon eine zunächst bleibende geworden und wurde erst im Laufe mehrerer Stunden wieder rückgängig gemacht; ein Beweis, dass bereits innere Anpassung an die neue Form eingetreten war, welche aber im Laufe der weiteren Entwicklung, vielleicht durch die bei der Deformation gehemmten, die normale Gestalt intendirenden Wachsthumskräfte wieder ausgeglichen wurde.

Die so erwiesene rasche Anpassungsfähigkeit der Embryonen an erzwungene Deformationen in der Periode der raschesten Differenzirung hat mich nicht gewundert; aber es überraschte mich zu sehen, dass auch befruchtete ungefurchte sowie in der ersten Furchung begriffene Eier, welche doch aus fast flüssigem Materiale bestehen, durch obige Methode zu einer den Zwang überdauernden Aenderung ihrer Gestalt veranlasst, z. B. drei- oder viereckig gemacht werden konnten. Dabei zeigte sich aber, dass sie unter der Wirkung dieses Zwanges leicht abstarben. Diese Versuche nebst einem gleichfalls an Froschembryonen vorgenommenen Versuche über die Entstehung der Rautengrube wurden bereits vor zwei Jahren (1882) angestellt, und die Absicht weitere Versuche an Hühnerembryonen vorzunehmen, war in Vergessenheit gerathen. Erst jetzt im October bei der Ausarbeitung dieser Schrift wurde ich wieder daran erinnert, und versuchte das Versäumte nachzuholen; aber von allen in dieser späten Zeit noch bebrüteten Eiern entwickelten sich bloss einige wenige, an welchen ich die folgenden Beobachtungen machte.

Ein Embryo von 40 Brütstunden mit am Kopf- und Halstheil geschlossenem Medullarrohr wurde durch seitliche, der Medianlinie parallele Schnitte aus der Umgebung ausgelöst und herausgenommen. Obgleich auf der einen Seite nur noch ein Stück Seitentheil von der Breite des Medullarrohres neben diesem letzteren, auf der anderen Seite aber fast nichts vom Seitentheil des Embryo mehr vorhanden war, breiteten sich die noch unvereinigten Medullarwülste doch nicht seitlich aus; auch nicht, nachdem die hintere Hälfte des Embryo mit dem noch offenen Medullarrohr von der vorderen geschlossenen Hälfte getrennt worden war. Vorgenommene momentane Verbiegungen des Embryo glichen sich immer sofort wieder vollkommen aus.

Bei einem anderen Embryo mit noch breiterem Anhang der Urwirbel und Seitenplatten, sowie bei einem in Toto herausgenommenen Embryo wurden von den beiden Seiten her die Seitentheile gegen das noch offene Medullarrohr hingedrängt, um es entsprechend His' Annahme dadurch zu verengen, resp. zum Schluss zu bringen. Aber es bogen sich nur die Seitentheile in sich ohne Effect für das Medullarrohr, und erst als die Falten dieser Theile direct an die Urwirbel und diese dadurch an die Medullarwülste angepresst wurden, wurden auch diese letzteren einander genähert. Also ein Beweis, dass die Seitentheile viel biegsamer sind als das Medullarrohr und daher letzteres nicht passiv verengen können.

Diese Embryonen wurden zuletzt in viele Stücke zerschnitten, doch änderte keines derselben erkennbar seine Gestalt. Bei einem weiteren Embryo aber rollte sich der rechte Seitentheil des Hornblattes längs des noch offenen hinteren Theiles des Medullarrohres dorsal medianwärts ein und bedeckte so die Medullarfurche.

Alle übrigen Embryonen wurden aus dem Eie sofort in erwärmte physiologische Kochsalzlösung übertragen, während die bisher erwähnten nur in Brunnenwasser von Zimmertemperatur gethan worden waren.

Ein Embryo von 36 Brütestunden mit noch ganz offenem Medullarrohr, zeigt bloss vorn in einer kleinen Strecke die Medullarwülste schon bis zur Berührung genähert. Die deutliche Erhebung der Wülste erstreckt sich bloss bis zum ersten Urwirbel nach hinten. Die Seitentheile sind jederseits nur in einer Ausdehnung von der Breite der Medullarfurche mit herausgenommen. Trotzdem wird keine seitliche Verbreiterung der Medullarfurche durch den Wegfall des vermutheten seitlichen Druckes bemerkbar. Eine Viertelstunde nach der ersten Beobachtung erstreckt sich die Erhebung des Medullarwulstes bis zum vierten Urwirbel und im Bereiche des vorderen Theiles des Medullarrohres haben sich die Ränder desselben erheblich genähert, an einer gemessenen Stelle von 0,23 mm auf 0,05 mm. So wurde also eine weitere Erhebung und Näherung der Medullarwülste direct beobachtet, nachdem die Seitentheile des Embryo abgeschnitten worden waren; ein Beweis, dass diese Vorgänge unabhängig von diesen Seitentheilen

vor sich gehen können, also wohl Selbstdifferenzirung der sich umformenden Theile des Medullarrohres darstellen, da die Urwirbel im vorderen Theile des Embryo gleichfalls nicht die nöthigen Bedingungen für geeignete Beeinflussung des Medullarrohres darbieten.

Die Entstehung der Rautengrube leitet His von der Brückenkrümmung, von der dorsalwärts concaven Biegung des primären Hinterhirnes ab, auf Grund der ähnlichen Form, welche ein der Länge nach etwas aufgeschlitzter Gummischlauch zeigt, wenn er gegen den Schlitz hin concav gebogen wird.

Um die Richtigkeit dieser Auffassung zu prüfen, hatte ich zunächst Froschembryonen verwendet, obgleich diese normal eine besonders kleine Brückenkrümmung und schmale Rautengrube haben. Ich bog lebende Embryonen mit noch offener Medullarfurche dorsalwärts um bis zum rechten Winkel, aber es entstand nur eine sehr geringe Abflachung und seitliche Verbreiterung der Medullarwülste. Ein Embryo, welcher über Nacht in einer Lordose von 90° erhalten worden war, hatte am anderen Morgen diese Gestalt bleibend angenommen; das Medullarrohr war noch offen, zeigte aber keine Rautengrube. Ich weiss nicht, ob er nicht vielleicht sehr bald abgestorben war. Es ist zu bemerken, dass bei Froschembryonen sehr häufig erhebliche Lordosen durch Raumbeengung innerhalb der Gallerthülle sich ausbilden, ohne dass eine Bildungsabweichung des Medullarrohres, etwa Wiederaufplatzen desselben mit nachträglicher Bildung einer Rautengrube im Lendentheil entstünde.

Die Experimente an den wenigen Hühnerembryonen dieses Herbstes ergaben folgende Resultate.

Der obige erste Embryo mit noch im Ganzen offenem, vorn aber schon im Schlusse begriffenen Medullarrohre wurde, in Wasser von Zimmertemperatur befindlich, in seinem Halstheil um etwa 90° rückwärts gebogen, ohne dass jedoch eine wesentliche Verbreiterung der Medullarfurche an der Stelle entstand. Nach dem Aufhören der biegenden Einwirkung schnellte er wieder in seine frühere Form zurück. Dasselbe Resultat ergab der obige Embryo mit schon in der vorderen Hälfte geschlossenem Medullarrohr. Erst nach mehrmals wiederholter Rückwärtsbiegung um viel über 90° platzte unterhalb des Ektoderm das Medullarrohr auf.

Der letzte obige Embryo wurde, nachdem er unter meinen Augen das Medullarrohr weiter ausgebildet hatte, im hinteren Kopftheil 90° rückwärts gebogen, ohne dass die Medullarwülste seitlich auseinander wichen, wie es an einem aufgespaltenen Gummirohr bei gleicher Biegung geschieht. Daraus ergibt sich also übereinstimmend, dass die Massenanordnungen bei diesen Hühner- und Froschembryonen nicht derartig waren, dass sich nach His' Vermuthung durch solche Rückwärtsbiegung passiv eine Rautengrube erzeugen liesse; aber es ist nicht zu verkennen, dass in einer solchen Biegung eine Tendenz zu einem Auseinanderweichen der seitlichen Wülste vorhanden ist, welcher aber durch den Widerstand der äusseren Nachbarschaft mehr oder weniger das Gleichgewicht gehalten werden kann. Nachdem nun aber die Biegung 15 Minuten ohne Erfolg geblieben war, bemerkte ich, dass sich auf einmal das Medullarrohr an der Biegungsstelle seitlich verbreiterte, und dass eine ähnliche Verbreiterung auch mitten im Kopftheil, welcher nach rückwärts convex gebogen war, stattfand; innerhalb weiterer 4 Minuten wurde dann bereits das Maximum der Erweiterung erreicht und eine vorher gemessene Stelle hatte sich dabei von $0{,}03^{mm}$ auf $0{,}13^{mm}$ verbreitert.

Ein anderer Embryo mit einem am Kopfttheil bereits geschlossenen, in der hinteren Hälfte im Schlusse begriffenen Medullarrohr wurde in der gleichen Weise im Kopftheil convex, im hinteren Halstheil aber erheblich über einen rechten Winkel, etwa 150°, concav rückwärts gebogen, beides gleichfalls ohne momentanen Effect auf das Medullarrohr. Nach einiger Zeit jedoch öffnete sich der mittlere Kopftheil des Rohres unterhalb des Ektoderm und die Augenblasen erlangten ganz abnorme Gestalt; weiter caudal, etwa in der dorsal vom aboralen Herzrand gelegenen Gegend des Medullarrohres bildete sich eine wohlgeformte, durch scharf abgeknickte Seitwärtsbiegung der Medullarwülste ausgezeichnete Rautengrube aus. Kopfwärts davon waren die Medullarwülste noch ein zweites Mal seitlich ausgebogen, aber an nicht vollkommen symmetrisch gelegenen Stellen, so dass diese zweite Oeffnung des Medullarrohres eine mehr schlanke, rhomboide Form darbot.

An diesen Fall schliesst sich wohl das vorstehend erwähnte Vorkommniss von seitlicher Ausbiegung der Medullarwülste in der

mittleren Rumpfgegend bei stark lordotischen Froschembryonen an, deren Eier während der Furchung angestochen waren (S. 446 Nr. 116, S. 456 Nr. 112); auch in diesen Fällen war typische Rautengrubenform vorhanden. Das Gleiche zeigte sich auch in einem Falle, in welchem die ventrale Wandung der Medullarfurche keinen Defect darbot (beim Anstechen nach der vierten Furche S. 450).

Das letzte entwickelte Ei war schon von der Henne bebrütet und bot nach 36stündiger künstlicher Bebrütung einen Embryo von etwa 60 Brütstunden dar; dieser wurde daher bloss zu Verbiegungsversuchen verwandt. Der Embryo bekundete wie alle früheren Embryonen eine sehr vollkommene Elasticität und kehrte nach jeder momentanen Deformation rasch zu seiner normalen Gestalt zurück. Jede Verbiegung jedoch, welche 5 Minuten lang (NB. im warmen Wasser) passiv erhalten worden war, zeigte sich als bereits durch innere Anpassung für einige Zeit fixirt. Der Embryo, an welchem die Seitentheile ziemlich breit, etwa in doppelter Medullarrohrbreite jederseits erhalten waren, überlebte die Herausnahme aus dem Eie um zwei Stunden. Der hinterste Theil des Embryo war bei einer ungeschickten Manipulation halb abgequetscht worden und wurde deshalb ganz abgetrennt. Einige Zeit nach der Herausnahme fiel mir auf, dass sich an einer Stelle die Seitentheile von beiden Seiten her ventral bis fast zur Berührung genähert hatten; ich vermuthete zunächst, dass es eine bleibend gewordene unbeabsichtigt vorgenommene passive Aenderung sei. Es wurde nun jede weitere Beeinflussung vermieden, und es zeigte sich, dass sich die seitlichen Wandungen einander immer mehr näherten, sich fest zusammenschlossen bis zur Berührung, dann noch weiterhin zur Vereinigung des so gebildeten Enddarmes und zwar derart, dass die Ränder der Seitentheile sich wieder nach aussen wölbten, während mehr medullarwärts gelegene Stellen zur Berührung mit einander gelangten. Dieser somit direct beobachtete Selbstschluss des Darmrohres betraf nur das hintere Drittel des Embryo, liess also die Gegend hinter dem Herzen offen. Dagegen war der Schluss auch an dem abgetrennten hintersten Stücke des Embryo aber in etwas geringerem Maasse zu beobachten. Die Stelle stärkster Krümmung

lag hier aber jederseits näher der Medianebene; die mehr lateralen Theile wurden bloss passiv mitgenommen, ohne sich zu biegen.

Wir haben also zu dem oben beobachteten Selbstschluss des Medullarrohres in diesem Selbstschluss des Darmrohres noch ein zweites Beispiel, nicht durch Stauung gegen äussere Theile, sondern activ an dem Umformungsherd selber erzeugter Biegung kennen gelernt. Nach welcher von den oben erörterten Möglichkeiten aber diese Biegung vor sich geht, ob unter keilförmiger Selbstumgestaltung der Zellen, oder unter Zellwachsthum oder Zellansammlung auf der convexen Seite oder durch Zellschwund oder -Auswanderung an der concaven Seite etc., das ist natürlich nur durch besondere, diesem Zwecke angepasste Untersuchungsweisen zu ermitteln. Der Umstand, dass der Selbstverschluss beider Rohre nach der Abtrennung von der seitlichen Umgebung so rasch erfolgte, deutet vielleicht darauf hin, dass diese Umgebung, im Gegensatze zu der Vorstellung von His, als Hinderniss für den Schluss aufzufassen ist; sofern man nicht annehmen will, dass durch die abnormen Bedingungen besondere den Schluss bewirkende Kräfte ausgelöst worden wären, oder dass auch innerhalb des Eies der Verschluss sich zu derselben Zeit und mit derselben Geschwindigkeit vollzogen haben würde, was wenigstens für das Darmrohr vielleicht ein wenig zu früh gewesen wäre. Aber allerdings entsteht um diese Zeit am Entoblast eine ähnliche Biegung, welche indes unter normalen Verhältnissen nicht zum Verschlusse führt, vielleicht, weil die Seitentheile durch den Dotter noch zu sehr auseinander gehalten werden.

Bezüglich der Rautengrube dagegen erhielten wir das Resultat, dass es möglich ist, durch Rückwärtsbiegung des Medullarrohres eine entsprechend gestaltete Grube sogar an nicht dafür bestimmter Stelle zu erzeugen. Zugleich aber erkannten wir, dass die Umformung nicht einfach mechanisch vor sich geht, wie bei der Biegung eines aufgeschlitzten Gummischlauches, sondern dass die Entstehung der Rautengrube erst durch die Lebensthätigkeit der Gewebe ermöglicht wird. Aus diesem Befunde lässt sich aber noch nicht sicher folgern, dass die normale Rautengrube wirklich auf diese Art entstehe,

sondern es wird diese Eventualität dadurch bloss in den Bereich der empirischen Möglichkeiten gerückt.

Die so von mir künstlich hergestellte Rautengrube gehört der Art ihrer Entstehung nach genau genommen nicht mehr in die Gruppe mechanischer Massencorrelationen. Doch empfiehlt es sich wohl, diese Art durch mechanische Massencorrelation vermittelter vitaler Umformung mit als Unterabtheilung in diesen Abschnitt aufzunehmen, weil sie vermuthlich die häufigere ist gegenüber der rein mechanischen Massencorrelation, der rein passiven Umformung lebenden Materiales. Denn es wird bei mechanischen Massencorrelationen im Organismus meist wohl zunächst nur eine sehr geringe passive Umgestaltung stattfinden; nnd erst in dem Maasse, als an diese Umgestaltung durch vitale Vorgänge successive innere Anpassung stattgefunden hat, wird allmählich die Umgestaltung weiter vorschreiten.

Ich beabsichtige, alle bis jetzt bekannten Beispiele von gestaltenden Massencorrelationen zu sammeln, um in späteren Beiträgen eine vollkommene Uebersicht über dieselben zu geben. Vielleicht unterstützen mich die betreffenden Autoren freundlicher Weise durch gefällige Uebersendung von Separatabzügen oder von Litteraturnachweisen in der Ausführung dieser mühevollen Arbeit.

Es ist keine Veranlassung anzunehmen, dass mit den erörterten drei Arten von Wechselwirkungen: der functionellen Anpassung, der zur Theilauslese führenden Correlation und der mechanischen Massencorrelation die Möglichkeiten „differenzirender“ Correlationen für den normalen Verlauf der Entwicklung erschöpft seien. Da wir den Antheil der Selbstdifferenzirung an der Entwicklung noch nicht kennen, sind wir schon aus diesem Grunde nicht im Stande, das Gebiet der correlativen Differenzirung zu umgrenzen und daraufhin zu bestimmen, wie weit die diesem Principe zugehörigen Wirkungen sich auf die erörterten drei Arten zurückführen lassen. Dem gegenüber müssen wir, um nichts zu übersehen, uns vorläufig vorstellen, dass vielleicht sehr viele elementaren, bereits bekannten und noch unbekannten, qualitativen und quantitativen Veränderungen selbständig, dass heisst ohne äussere Einwirkung auf den Diffe-

renzirungsbezirk sich vollziehen. Andererseits aber ist auch stets daran zu denken, dass vielleicht viele dieser Vorgänge von näheren oder entfernteren Theilen des Organismus ausgelöst oder in einer differenzirenden Weise beeinflusst werden können.

Es ist wohl nicht nöthig, nochmals hervorzuheben, dass jede Differenzirung, an sich betrachtet, das Product von Wechselwirkung ist, und dass es uns bei der Unterscheidung von selbständiger und correlativer Differenzirung immer nur darauf ankommt, zu ermitteln, ob die Ursache einer Veränderung in dem Bezirke der wahrnehmbaren Veränderung selber oder ausserhalb desselben gelegen ist, und dass wir allmählich die einzelnen Differenzirungsvorgänge sowie für jeden derselben die Ausdehnung und Lage seines Ursachenbezirkes kennen lernen wollen, weil wir auf Grund dieser Kenntniss dann weiterhin Schlüsse über die Natur der Ursachen ableiten und so Handhaben für die Erforschung ihrer selbst gewinnen können.

Es fehlt nicht an Erscheinungen, welche auf ihrem Wesen nach nicht näher bekannte Correlationen hinweisen; z. B. die Ausbildung der secundären Geschlechtscharaktere, welche in so entschiedener Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Geschlechtsdrüsen, ja angeblich sogar von der Geschlechtsdrüse der entsprechenden Körperhälfte stehen; ferner die secundären Veränderungen bei der Schwangerschaft, soweit sie nicht der functionellen Anpassung zugehören. Desgleichen die Erscheinung der vorzeitigen Reife des ganzen Körpers (A. Kussmaul[1]). Ferner vielleicht zum Theil die Ursachen des verschiedenen Habitus des ganzen Körpers oder der Gesichtsbildung, z. B. die neuerdings von Kollmann[2]) nachgewiesenen Correlationen der Gesichtsbildung. Im dritten Beitrage wird auf eine andere neue Correlation gefahndet werden. Man wird ferner daran denken müssen, dass manche Beispiele der von Ch. Darwin unter dem Namen „correlative Variabilität“ zusammengefassten

1) A. Kussmaul, Würzburger med. Zeitschr. Bd. 3 S. 321—360.

2) J. Kollmann, Correspondenzblatt der deutschen anthrop. Gesellsch. 1883 Nr. 11.

Erscheinungen von gemeinsam auftretenden Abänderungen der Individuen, z. B. der Art, dass Pferde mit einem weissen Stern auf der Stirn gewöhnlich weisse Füsse haben, vielleicht einer frühzeitigen Correlation von Theilen im Eie ihre Entstehung verdanken können. Dagegen ist das von Göthe und Geoffroy St. Hilaire aufgestellte Gesetz der Compensation des Wachsthums, wie ich dargethan habe, auf die Wirkung der functionellen Anpassung in Verbindung mit dem Kampfe der Theile zurückzuführen.

Breslau, December 1884.

Inhalt

zu: „Beiträge zur Entwicklungsmechanik des Embryo". Von Wilh. Roux.

Ueber die Methode der richtigen und falschen Fälle in Anwendung auf die Maassbestimmungen der Feinheit des Raumsinnes oder der sog. extensiven Empfindlichkeit der Haut.

Von

G. Th. Fechner.

I. Vorbemerkungen.

Ich gebe das Folgende als Auszug aus einer grösseren Abhandlung, welche, in Anschluss an die, in dieser Zeitschrift erschienenen Experimentaluntersuchungen von Dr. Camerer über obigen Gegenstand, kürzlich von mir über die Rechenseite desselben veröffentlicht worden ist[1]). Anlass zu diesem Auszuge haben folgende Umstände gegeben: Es schien überhaupt wünschenswerth, den Inhalt der Abhandlung in abgekürzter Form dem Leserkreise dieser Zeitschrift zugänglich zu machen, nachdem seit einer Reihe von Jahren alle einschlägigen Experimentaluntersuchungen hier erschienen sind. Sodann hat Dr. Camerer ausser den erwähnten Untersuchungen im Gebiete des Tastsinnes schon früher damit verwandte Versuche im Gebiete des Geschmackssinnes angestellt, und solche durch neue, mir bisher erst privatim mitgetheilte, Versuche vervollständigt, worauf sich eine demnächst zu erwartende Abhandlung desselben in dieser Zeitschrift beziehen wird; und da sich daraus ergeben hat, dass beide Gebiete, das des Tastsinnes und

1) Im XIII. Bande der Abh.d. mathem. physikal. Classe der kgl. sächs. Soc. S. 111 ff.

Geschmacksinnes, gemeinsamen Gesichtspunkten des Maasses und hiermit einer gemeinsamen rechnenden Behandlung unterliegen, schien es nicht unzweckmässig, diesen Auszug aus meiner Abhandlung vorauszuschicken, um dadurch Camerer's Abhandlung bis zu gewissen Grenzen zu entlasten, ohne dem Leser zuzumuthen, auf die anderwärts erschienene, ziemlich weitschichtige, Abhandlung von mir selbst Rückgang zu nehmen. Hierüber hat ein gegenseitiges Einvernehmen zwischen uns stattgefunden.

Eine gewisse, wenn auch nur ganz oberflächliche, Kenntniss von dem Verfahren der richtigen und falschen Fälle ist für das Folgende vorausgesetzt.

II. Vorläufige Uebersicht der zu brauchenden Bezeichnungen und zu machenden Unterscheidungen.

Unter D ist der Spitzenabstand auf der Haut verstanden, welcher in den Versuch genommen wird; unter n die Anzahl der Versuche oder sog. Fälle bei dem jeweiligen D; unter r die Anzahl der sog. richtigen Fälle, d. i. wo die Distanz als solche erkannt wird, unter z oder nach Anderen f, die der sog. falschen Fälle, wo die Distanz nicht als solche erkannt wird; unter u die der dazwischen liegenden zweideutigen oder sog. unbestimmten Fälle.

Versuche mit Anwendung bloss von einer Spitze, wo also $D = 0$, heissen Vexirversuche, solche mit Anwendung zweier getrennter Spitzen Hauptversuche; solche, wo beide zwischen einander geschoben werden, gemischte Versuche. Falls bei der einfachen Berührung des Vexirversuchs der Eindruck einer doppelten (oder auch nur breit scheinenden) Berührung entsteht, heisst es ein Vexirfehler.

Da für Rechnungszwecke entweder r ganz ohne Zurechnung von u, oder mit Zurechnung des vollen u oder mit Zurechnung des halben u verwandt werden kann, so werden diese drei Fälle als Reductionsweisen α, β, γ unterschieden, und das irgendwie reducirte r mit r' bezeichnet — Je nachdem die Versuche wissentlich oder unwissentlich im später anzugebenden Sinne angestellt sind, werden sie mit W oder U bezeichnet. — Je nachdem

zur Berechnung derselben eine, von mir oder von G. E. Müller aufgestellte, Formel dient, gilt die Bezeichnung F oder M. — Je nach dem Zusammentreffen dieser verschiedenen Umstände aber sind folgende 12 Combinationen von Versuchs- und Rechnungsweisen zu unterscheiden:

$F\,W\alpha$	$M\,W\alpha$
$F\,W\beta$	$M\,W\beta$
$F\,W\gamma$	$M\,W\gamma$
$F\,U\alpha$	$M\,U\alpha$
$F\,U\beta$	$M\,U\beta$
$F\,U\gamma$	$M\,U\gamma$

Aufgabe der Untersuchung ist, die vorzüglichste dieser Combinationen zu ermitteln, um auf Grund derselben vergleichbare Maassbestimmungen der Feinheit des Raumsinnes oder sog. extensiven Empfindlichkeit der Haut zu gewinnen.

Die Fechner'sche Formel F hat in der zur praktischen Anwendung und Prüfung geeigneten (sog. secundären) Form den Ausdruck

$$t = hD + k,$$

die Müller'sche M den Ausdruck

$$t = h\,(D - S) = hD - k.$$

Diese Formeln und die darin enthaltenen Buchstaben werden ihre bestimmtere Erläuterung später finden. Vorgreiflich nur Folgendes zur Anknüpfung einiger weiteren Bezeichnungen und Unterscheidungen.

Der Werth t hängt nach beiden Formeln von dem nach α, β oder γ reducirten $\frac{r'}{n}$ oder procentalen r' % ab, eine Abhängigkeit, die durch eine sog. Fundamentaltafel vermittelt wird, sofern diese zu jedem r' % das zugehörige t und umgekehrt gibt. h und k sind für einen gegebenen Hauttheil bei gegebener extensiver Empfindlichkeit constant, und charakteristisch für den Zustand derselben. Sie können in später anzugebender Weise für jedes Individuum und jeden Hauttheil aus den Versuchen selbst bei einer Reihe verschiedener D's gefunden, und die nach ihnen berechneten Werthe

r' % mit den beobachteten verglichen werden. Die Abweichungen zwischen beiden nenne ich ε, und die Summe der Quadrate von ε für eine gegebene Versuchsreihe an einem gegebenen Hauttheile $\Sigma\varepsilon^2$. Je kleiner $\Sigma\varepsilon^2$ unter vergleichbaren Umständen ist, desto mehr spricht es für den Vorzug der bei den Versuchen und zur Berechnung angewandten Combination.

Die Ableitung der h, k aus den Versuchen kann entweder nach dem verhältnissmässig einfachen, aber minder scharfen, sog. Summationsverfahren, kurz Summ., oder nach der umständlicheren aber schärferen Methode der kleinsten Quadrate, kurz Qu., geschehen (s. Abschn. VII S. 539 ff.). Falls sich mehrere Beobachter in vergleichbarer Weise (mit demselben n an denselben D) bei einer Beobachtungsreihe betheiligen, so können auf zweierlei Weise, die ich als Methode der mittleren r und der mittlern t, oder kurz als R und T unterscheide, mittlere Resultate daraus gezogen werden (s. Abschn. XI).

Als Tübinger Versuche fasse ich diejenigen Versuche zusammen, welche seit 1870 auf Vierordt's (des Entdeckers der Methode) Veranstaltung in seinem physiologischen Institute zu Tübingen von Zuhörern desselben, als namentlich Kottenkamp und Ullrich, Paulus, Riecker, Hartmann, Gärttner, Schimpf an den verschiedensten Stellen der Haut über deren extensive Empfindlichkeit nach unserer Methode ausgeführt worden sind (s. diese Zeitschr. Bd. 6, 7, 10, 11 u. 17); — als ältere Camerer'sche Versuche die, welche Camerer mit seinen zwei Kindern, Hedwig und Ida, an den verschiedenen Theilen der oberen Extremität in den Jahren 1875, 1876 unternommen, in den Jahren 1879, 1880 fortgesetzt, und vereinigt im 17. Bande dieser Zeitschrift veröffentlicht hat; — als neuere Camerer'sche Versuche die, welche von ihm seit September 1882 unter neuen Maassnahmen bloss an Handgelenk (in zwei grösseren Versuchsabtheilungen Nr. 1 und 2) und an Stirn (Nr. 3) mit Zuziehung von vier bis fünf Beobachtern angestellt und im 19. Bande dieser Zeitschrift veröffentlicht worden sind; endlich als Volkmann'sche Versuche die, welche Volkmann an der Fingerspitze bezüglich des Einflusses der Uebung und einer künstlichen Hautverdünnung angestellt, und

in den „Ber. d. kgl. sächs. Soc. 1858“ Bd. 10 S. 46 ff. mitgetheilt hat (woraus die Wiedergabe derselben in meiner Abhandlung p. 170 ff.) erfolgt ist.

Als Einheit der Distanzen gilt überall der Millimeter, π und e haben die gewohnte Bedeutung als Ludolf'sche Zahl und Grundzahl der natürlichen Logarithmen. Seitenverweisungen mit p. beziehen sich auf meine grössere Abhandlung, mit S. auf diesen Auszug daraus.

III. Aufgaben der Untersuchung.

Die Tübinger Versuche hatten den Hauptzweck, eine Scala der extensiven Empfindlichkeit für die verschiedenen Hauttheile zu ermitteln, liessen aber noch manche Fragen hinsichtlich der Methode selbst und deren Verwerthung zu Maassbestimmungen ungelöst, die es ein Interesse hatte in Angriff zu nehmen, namentlich folgende:

1. Lassen sich die Ergebnisse der Methode in Anwendung auf die absolute Empfindlichkeit im Tastgebiete, um welche es sich hier handelt, nicht ebenso mit Vortheil durch eine Formel repräsentiren, als es schon bezüglich der Unterschiedsempfindlichkeit in anderen Gebieten, namentlich im Gewichtsgebiete, geschehen ist, und sofern dazu bisher schon zweierlei Formeln, kurz als F und M unterschieden, in Vorschlag gebracht sind, lässt sich einer von ihnen der Vorzug ertheilen?

2. Ist bei den Versuchen das wissentliche oder unwissentliche Verfahren (kurz W oder U) vorzuziehen?

3. Wie sind die sog. unbestimmten Fälle (u) zu verwerthen, welche zwischen dem Eindruck einfacher und doppelter Berührung inne liegen, und welche von den drei Reductionsweisen α, β, γ ist in dieser Hinsicht zu bevorzugen?

4. Welche Rolle spielen die sog. Vexirversuche und Vexirfehler?

5. Wie sind die Versuche verschiedener Beobachter zu einheitlichen Resultaten zu combiniren?

Nun waren zwar schon die älteren Camerer'schen Versuche nach gewissen Beziehungen über die Tübinger hinausgegangen, und

hatten manche Verhältnisse richtiger als früher beurtheilen lassen, ohne aber zur Lösung der vorigen Fragen hinzureichen; und namentlich im Interesse ihrer Lösung sind die neueren Versuche mit manchen Abänderungen gegen die Tübinger und früheren eigenen Versuche Camerer's angestellt, wonach sich auch die folgende Untersuchung hauptsächlich auf diese neuen Versuche Camerer's stützt. Dabei werden die im II. Abschnitte dieses Auszuges vorgreiflich aufgestellten Bezeichnungen und Unterscheidungen ihre nähere Erläuterung und Verwendung finden.

IV. Allgemeinste Maassprincipien der Methode.

Zunächst dahingestellt, welche von den drei Reductionsweisen am besten für Maassbestimmungen anzuwenden ist, was sich erst experimentell entscheiden lassen wird, nehmen wir die passendste Reductionsweise schon als gegeben an, um das darnach reducirte r' den folgenden Betrachtungen und Rechnungen unterzulegen.

Hiernach werden wir zuvörderst die grössere oder geringere extensive Empfindlichkeit eines Hauttheiles darnach beurtheilen können, ob er bei gegebenem D unter einer gegebenen Anzahl n von Fällen eine grössere oder geringere Zahl von Fällen r', kurz ein grösseres oder geringeres $\frac{r'}{n}$ oder procental r' % gibt. Nach dem allgemeinen Maassprincip der Empfindlichkeit aber ist letztere nicht proportional zu setzen der Grösse des $\frac{r'}{n}$, welches bei gegebenem D erzielt wird; die Empfindlichkeit ist vielmehr umgekehrt proportional der Grösse des D, welches erforderlich ist, um ein gegebenes $\frac{r'}{n}$ oder r' % zu liefern. Dabei ist jedoch nicht ausser Acht zu lassen, um dieses Maassprincip anwendbar zu finden, erstens, dass die Versuche für die verschiedenen Hauttheile streng vergleichbar hinsichtlich der Umstände angestellt werden müssen, welche auf das Spiel der Versuchszufälligkeiten Einfluss gewinnen können, und zweitens, dass die absolute Zahl der Versuche, das n derselben, nicht zu klein sein darf, indem ebenso wie bei physikalischen Maassnahmen die

Sicherheit der Bestimmungen mit der Zahl der dazu beitragenden Versuche wächst. Als das strengste Maass nach unserer Methode wäre das anzusehen, welchem eine unendliche Zahl von Fällen unterläge; insofern aber eine solche nicht zu Gebote steht, sprechen wir von unausgeglichenen Zufälligkeiten, und muss man sich ebenso wie bei physikalischen Maassnahmen wahrscheinliche Fehler der Bestimmungen gefallen lassen, die sich nicht vermeiden, sondern nur durch Vergrösserung des n mehr und mehr herabbringen lassen.

Müller glaubt nun freilich in Zusammenhang mit der Aufstellung seiner Formel überhaupt ein anderes als das vorige Maassprincip für unser Empfindlichkeitsgebiet in Anwendung bringen zu müssen, worauf ich später komme (s. Abschn. VII); da sich aber dasselbe auch im Zusammenhange mit seiner Formel als ungenügend erweisen lassen wird, fahre ich in der Entwicklung des obigen Maassprincipes in Bezug auf unser Versuchsgebiet fort.

Um hiernach die extensive Empfindlichkeit verschiedener Hauttheile zu vergleichen, käme es also darauf an, solche Distanzen D auf ihnen zu ermitteln, welche unter Anwendung eines recht grossen n ein gleiches $\frac{r'}{n}$ oder r' % geben, und ihre Empfindlichkeit diesen Distanzen reciprok zu nehmen. Aber die Ermittelung solcher äquivalenten Distanzen, um diesen kurzen Ausdruck zu gebrauchen, auf rein empirischem Wege hat praktische Schwierigkeiten. Denn es ist zwar leicht, für dieselben Distanzen auf verschiedenen Hauttheilen zugehörig verschiedene r' % zu finden, und hiernach eine Reihenfolge der Empfindlichkeit für sie zu bestimmen; aber um umgekehrt die D's auf ihnen zu bestimmen, welche dasselbe r' % geben, wie es zu einem eigentlichen Maassvergleiche nöthig ist, würde auf directem Versuchswege ein mühsames und doch nicht vollständig zum Ziele führendes, Tatonnement erfordert werden. Nun hat Vierordt den Weg eingeschlagen, mittelst eines graphischen Interpolationsverfahrens aus einer grossen Anzahl von Versuchen an verschiedensten Hauttheilen eine allgemeine Vergleichsscala zwischen den Verhältnissen der r' % und D zu gewinnen, nach der sich äquivalente Distanzen bestimmen lassen; es entspricht aber

dies Verfahren nach den Erörterungen in meiner Abhandlung p. 174 ff. nur unvollkommen dem Zwecke.

Auf anderem Wege kann man versuchen, die Beziehung zwischen den r' % und den D für jeden Hauttheil insbesondere in der Art allgemein durch eine Formel auszudrücken, dass zu jedem beliebigen D auf ihm das zugehörige r' % und umgekehrt gefunden werden kann, womit natürlich auch die Brücke zum Gewinn äquivalenter Distanzen zwischen den verschiedenen Hauttheilen gegeben, und überhaupt die wichtigste Unterlage für die mathematische Entwicklung der Methode gewonnen sein wird.

Bemerktermaassen haben sowohl G. E. Müller als ich selbst eine solche aber verschiedene respectiv mit M und F bezeichnete Formel aufgestellt; und obwohl ich durch die Discussion der neuen Camerer'schen Versuche die Wahl zu Gunsten der meinigen (F) entschieden halte, wird dies doch nicht ersparen, auf die Müller'sche Formel (M) vergleichende Rücksicht zu nehmen, theils um die getroffene Entscheidung selbst zu begründen, theils Anhalt zu einem Weiterverfolg der Prüfung für das Feld der Geschmacksversuche zu geben.

Beide Formeln sind als Grundformeln, d. i., wie sie unmittelbar aus ihrer Begründung folgen, Integralformeln, welche sich auf keinen endlichen Ausdruck reduciren lassen, indem in beide das Gauss'sche Integral der Fehlerwahrscheinlichkeit, nur in sehr verschiedener Weise, eingeht. Unmittelbar lässt sich daher weder von der einen noch der anderen Gebrauch für unsere Zwecke machen, wohl aber indem man sie in eine sog. secundäre Formel mit zugehöriger Fundamentaltafel übersetzt, durch welche die Beziehung zwischen den r' % und D vermittelt wird, nachdem man für jeden Hauttheil insbesondere, durch Versuche bei einigen D's, den Werth zweier Constanten h, k ermittelt hat, welche in die secundäre Formel eingehen. Diese secundäre Formel mit der zugehörigen Fundamenttafel vertritt für die praktische Verwendung und empirische Prüfung vollkommen die Grundformel selbst, ist so zu sagen eine Uebersetzung derselben ins Praktische, und es würde müssig sein, auf die Grundformel anders, als behufs einer Einsicht in ihre ursprüngliche Begründung zurückzugehen, indes die experi-

mentale Bewährung, auf die Betreffs der Gültigkeitsfrage das durchschlagende Gewicht zu legen, sich nur an die secundäre Formel halten kann. Ehe aber überhaupt auf die Entscheidungsfrage zwischen beiden Formeln zu kommen, ist der Sinn derselben zu besprechen und sind noch andere Fragen in Betracht zu nehmen, die sich mit der Entscheidungsfrage dazwischen compliciren. Beschäftigen wir uns nun zuerst mit der Formel F, als derjenigen, bei der wir auch zuletzt stehen zu bleiben haben.

V. Die Formel F mit ihren Consequenzen.

Nicht sowohl auf theoretischen Voraussetzungen als auf den thatsächlichen Verhältnissen der Versuche nach unserer Methode ist in meiner Abhandlung (p. 196 ff.) zuerst versuchsweise folgende Grundformel aufgestellt und die daraus folgende secundäre Formel nachmals empirisch bewährt worden.

Grundformel: $$\frac{r'}{n} + \frac{z}{2n} = \frac{r' + n^{*})}{2n} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t = hD + k} e^{-t^2} dt$$

Die hieraus ableitbare secundäre Formel, mit der wir uns fortan zu beschäftigen haben, ist

$$t = hD + k$$

und die zugehörige Fundamentaltafel der Art, dass sie zu jedem Werthe r' %, den der Versuch gibt, einen zugehörigen Werth t gibt, durch dessen Vermittelung r' % in einfach berechenbare Beziehung zu D tritt, wenn die Constanten h und k bekannt sind.

Die Werthe h, k sind nämlich schon bemerktermaassen Werthe, welche für jeden Hauttheil constant bleiben, so lange seine extensive Empfindlichkeit constant bleibt, hingegen verschieden für Hauttheile von verschiedener Empfindlichkeit, also charakteristisch für den Empfindlichkeitsgrad jedes Hauttheiles. Bei Kenntniss dieser Constanten, welche nach Abschnitt VII zu gewinnen ist, kann man von einem irgendwie angenommenen r' % auf das D schliessen, welches dieses r' % auf dem betreffenden Hauttheile herbeiführen würde und umgekehrt; indem die secundäre Formel mit der Fundamentaltafel dazu nach folgendem Beispiel führt.

---

*) Mit Rücksicht, dass $z = n - r$.

Sei für einen gegebenen Hauttheil (nach dem unter Abschn. VII angegebenen Verfahren) $h = 0,3$; $k = 0,5$ gefunden; und verlange man zu wissen, welche Grösse des D auf diesem Hauttheile dazu gehört, um ein r' % $= 60$ zu geben, so suche man in der Fundamentaltafel des folgenden Abschnittes den zu r' % $= 60$ gehörigen Werth t, welcher sich $= 0,8962$ findet, und substituire in die secundäre Eormel die betreffenden Werthe für h, k, t, so hat man

$$0,8962 = 0,3 \; D + 0,5$$

$$\text{mithin } D = \frac{0,3962}{0,3} = 1,321$$

Sei umgekehrt auf demselben Hauttheile das zu $D = 2$ gehörige r' % gesucht, so setze man

$$t = 0,3 \times 2 + 0,5 = 1,1$$

und suche in der Fundamentaltafel das zu $t = 1,1$ gehörige r' % auf, was unter Zuziehung einer Interpolation gibt r' % $= 76,7$.

Mit Rücksicht, dass r' % mit t wächst, dass ein grösseres r' % bei gleichem D eine grössere Empfindlichkeit bedeutet, und dass die Empfindlichkeit dem D, welches ein gleiches r' % gibt, reciprok anzunehmen ist, kann man allgemein sagen, dass nach der secundären Formel die Empfindlichkeit jedes Hauttheiles von zwei Werthen abhängt: einem mit den Distanzen proportionalen hD, der für die Einheit der Distanz auf h zurückkommt, und einem von den Distanzen unabhängigen k, und dass zwei Hauttheile bei solchen Werthen D das gleiche r' % geben, mithin in diesem Sinne äquivalent sind, bei welchen das $t = hD + k$ des einen, wovon sein r' % nach der Fundamentaltafel abhängt, dem des anderen gleich ist. Dies das Princip, nach welchem die äquivalenten Distanzen auf zwei Hauttheilen zu bestimmen.

Seien also für einen Hauttheil A die Werthe h, k gleich h_a, k_a, für einen anderen B gleich h_b, k_b gefunden, mithin allgemein

$$t_a = h_a D_a + k_a \text{ für } A$$

$$t_b = h_b D_b + k_b \quad \text{„} \quad B$$

und es werde zu einer beliebigen Distanz $D_a = a$ auf A die äquivalente $D_b = b$ auf B gesucht, so setze man unter Substitution von b und a für D_a und D_b in vorige Formeln

$$t_a = t_b \text{ d. i. } h_a \cdot a + k_a = h_b \cdot b + k_b$$

und bestimme hieraus das Aequivalenzverhältniss $\frac{b}{a}$, was man erreicht, wenn man auf beiden Seiten mit $h_b \cdot a$ dividirt und $\frac{b}{a}$ auf eine Seite bringt. So erhält man:

$$\frac{b}{a} = \frac{h_a}{h_b} + \frac{k_a - k_b}{h_b a},$$

eine Formel, welche (wie nicht minder die Müller'sche Formel) zu dem an sich merkwürdigen, doch der Erfahrung entsprechenden, Ergebniss führt, dass das Verhältniss der äquivalenten Distanzen sich mit den Distanzen selbst ändert, indem dem Verhältniss $\frac{b}{a}$ auf der einen Seite der vorigen Gleichung ein Werth auf der anderen Seite entspricht, in dessen zweites Glied der Werth a selbst mit eingeht, zu dem der äquivalente Werth b gesucht wird. Wenn also z. B. auf einem Hauttheile A die Distanz 1 äquivalent der Distanz 2 auf einem anderen Hauttheile B ist, so hat man nicht zu schliessen, dass der Distanz 2 auf A die Distanz 4 auf B äquivalent ist; sondern es kann je nach Aussage der vorigen Gleichung eine grössere oder kleinere Distanz als 4 sein, welche auf B dasselbe r' % gibt.

Dies bedeutet nun nach dem allgemeinen Empfindlichkeitsmaasse, dass das Verhältniss der Empfindlichkeiten zwischen zwei Hauttheilen von Stelle zu Stelle wechselt, und zwar gilt dies principiell auch dann, wenn, wie bei unsern Formeln vorausgesetzt ist, auf jedem Hauttheile für sich die Empfindlichkeit durch die ganze Ausdehnung desselben gleich bleibt, was man daran erkennt, dass diese Ausdehnung in kleineren Theilen untersucht überall dasselbe r' % für gleich grosse Theildistanzen D gibt. Nun könnte man hierin einen Widerspruch sehen; aber schon auf jedem Hauttheil für sich kann man, trotz gleichförmiger Empfindlichkeit über seiner ganzen Ausdehnung, von dem r' %, was bei dem einfachen D erhalten wird, nicht nach irgend einer einfachen Proportion auf das r' % schliessen, was bei einem vielfachen D erhalten wird, sondern r' % ändert sich auf einem und demselben Hauttheil vom

einfachen zum vielfachen D nach den Werthen h, k in einer Weise, mit welcher die Aenderung der Verhältnisse äquivalenter D's auf zwei verschiedenen Hauttheilen mathematisch im Sinne der vorigen Gleichung zusammenhängt. Auch leuchtet ja aus allgemeinem Gesichtspunkte ein, dass, wenn die Empfindlichkeit jedes Hauttheiles ausser von einem mit der Distanz proportionalen Werthe hD auch von einem davon unabhängigen Werthe k abhängt, das Empfindlichkeitsverhältniss zweier Hauttheile, in denen h und k verschieden sind, sich mit der Grösse von D ändern muss.

Man würde übrigens sehr irren, wenn man meinte, dass diese eigenthümlichen Verhältnisse durch die Formeln erst eingeführt werden; sie bestehen abgesehen davon, und die Formeln haben nur den Sinn, sie schärfer und allgemeiner zu fassen, als es ohnedem möglich sein würde.

VI. Fundamentaltafel für Fechner's Formel (F').

r' %	t	Diff.	r' %	t	Diff.	r' %	t	Diff.
0	0,4769	56	21	0,6015	64	42	0,7482	79
1	4825	56	22	6079	65	43	7561	78
2	4881	57	23	6144	64	44	7639	80
3	4938	56	24	6208	65	45	7719	81
4	4994	56	25	6273	66	46	7800	83
5	5052	57	26	6339	67	47	7883	82
6	5109	58	27	6406	67	48	7965	84
7	5167	58	28	6473	69	49	8049	85
8	5225	58	29	6542	68	50	8134	87
9	5283	59	30	6610	68	51	8221	87
10	5342	59	31	6678	69	52	8308	89
11	5401	59	32	6747	70	53	8397	91
12	5460	61	33	6817	71	54	8488	92
13	5521	60	34	6888	72	55	8580	93
14	5581	61	35	6960	72	56	8673	95
15	5642	60	36	7032	73	57	8768	96
16	5702	62	37	7105	74	58	8864	96
17	5764	62	38	7179	74	59	8962	100
18	5826	63	39	7253	76	60	9062	102
19	5889	62	40	7329	76	61	9164	103
20	5951	64	41	7405	77	62	9267	106
21	6015		42	7482		63	9373	

r' %	t	Diff.	r' %	t	Diff.	r' %	t	Diff.
63	0,9373	108	86	1,2812	117	96,3	1,6656	72
64	9481	110	86,5	2929	119	96,4	6728	73
65	9591	112	87	3048	123	96,5	6801	76
66	9703	115	87,5	3171	128	96,6	6877	77
67	9818	118	88	3299	133	96,7	6954	80
68	9936	120	88,5	3432	137	96,8	7034	82
69	1,0056	123	89	3569	142	96,9	7116	84
70	0179	63	89,5	3711	148	97,0	7200	86
70,5	1,0242	64	90	3859	155	97,1	7286	89
71	0306	65	90,5	4014	161	97,2	7375	93
71,5	0371	65	91	4175	170	97,3	7468	95
72	0436	66	91,5	4345	177	97,4	7563	99
72,5	0502	67	92	4522	189	97,5	7662	102
73	0569	69	92,5	4711	198	97,6	7764	106
73,5	0638	68	93	4909	210	97,7	7870	109
74	0706	71	93,5	5119	226	97,8	7979	115
74,5	0777	71	94	5345		97,9	8094	120
75	0848	73	94,1	1,5392	48	98,0	8214	125
75,5	0921	74	94,2	5440	48	98,1	8339	131
76	0995	75	94,3	5488	49	98,2	8470	138
76,5	1070	76	94,4	5537	50	98,3	8608	145
77	1146	77	94,5	5587	51	98,4	8753	154
77,5	1223	78	94,6	5638	51	98,5	8907	163
78	1301	81	94,7	5689	53	98,6	9070	173
78,5	1382	81	94,8	5742	53	98,7	9243	187
79	1463	83	94,9	5795	54	98,8	9430	201
79,5	1546	85	95,0	5849	55	98,9	9631	218
80	1631	86	95,1	5904	57	99,0	1,9849	239
80,5	1717	88	95,2	5961	57	99,1	2,0088	264
81	1805	91	95,3	6018	58	99,2	0352	284
81,5	1896	93	95,4	6076	59	99,3	0636	349
82	1989	94	95,5	6135	60	99,4	0985	394
82,5	2083	96	95,6	6195	62	99,5	1379	473
83	2179	99	95,7	6257	63	99,6	1852	597
83,5	2278	101	95,8	6320	64	99,7	2449	821
84	2379	104	95,9	6384	66	99,8	3268	1345
84,5	2483	107	96,0	6450	67	99,9	3613	∞
85	2590	109	96,1	6517	69	100	∞	
85,5	2699	113	96,2	6586	70			
86	2812		96,3	6656				

In meiner Abhandlung sind zu den Werthen t der Tabelle noch Werthe $\Gamma = e^{-2t^2}$ und in einer Hilfstafel Werthe Γt gefügt, die hier übergangen sind, weil sie bloss für den Fall einer Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate in Betracht kommen, die ich zwar selbst zur Ziehung der Resultate angewendet habe, wegen deren aber auf die Abhandlung selbst p. 220 ff. zu verweisen ist, um folgends (s. Abschn. VII) bloss auf eine minder scharfe aber leichter darstellbare und in der Ausführung bequemere Rechnungsweise Bezug zu nehmen.

In Betreff des allgemeinen Ganges der Fundamentaltafel für F hat man folgende Punkte zu beachten. Für $r'\,\%=0$ gibt sie nicht $t=0$, sondern den positiven Werth 0,4769 (genauer 0,476936), welcher für das Gauss'sche Fehlergesetz eine besondere Bedeutung hat. Bei steigendem $r'\,\%$ steigt t continuirlich mit auf, in um so rascherem Verhältniss zu $r'\,\%$, je höher $r'\,\%$ steigt, und wird für $r'\,\% = 100$ oder $\frac{r'}{n} = 1$ unendlich. Negative Werthe von t finden in der Fundamentaltafel für F überhaupt keine Stelle.

Nun können zwei Grenzfälle für den ersten Anblick Verlegenheit bereiten. Beim Vexirversuch, wo $D=0$, wird nach der secundären Formel $t=k$, und mithin das zum Vexirversuch gehörige $r'\,\%$ gleich dem Werthe, den die Fundamentaltafel zu $t=k$ gibt. Aber es kommt vor, dass die Berechnung der Constanten (nach Abschn. VII) einen Werth k unter 0,4769 oder gar einen negativen Werth finden lässt, indes die Tafel doch nur positive t's von 0,4769 angibt. Wie solche Fälle zu deuten sind, wird näher im XIII. Abschnitte besprochen.

Der andere Fall ist der, wo $r'\,\% = 100$ oder $\frac{r'}{n} = 1$ gefunden wird. Solche Fälle sind womöglich in den Versuchen selbst dadurch zu vermeiden, dass man die Versuchszahl n hoch genug und D klein genug nimmt, da sie keiner directen Verwerthung durch Rechnung fähig sind, weil ihnen nach der Fundamentaltafel ein $t=\infty$ entspricht. Kommen aber doch solche Fälle unter anderen bei Werthen von D vor, die man in die Rechnung aufnehmen will, so scheint mir nach den in meiner Abhandlung p. 212 ff.

geführten Erörterungen zulässig, für $r' = n$ zu substituiren $r' = n - 0,25 = (n - 1) + 0,75$, und nach dem sich hierdurch ergebenden $r'\,\% = \frac{100\,(n - 0,25)}{n}$ das t der Fundamentaltafel zu bestimmen. Die so für $r'\,\% = 100$ und $t = \infty$ substituirbaren Werthe mögen Grenzwerthe heissen. Gesetzt, man hätte bei $n = 50$ den Werth $r' = 50$ erhalten, so würde man statt $\frac{r'}{n} = \frac{50}{50}$ vielmehr $\frac{49,75}{50}$ zu nehmen haben, was $r'\,\% = 99,5$ gibt, wozu in meiner Fundamentaltabelle $t = 2,1379$ gehört.

Uebrigens findet sich, dass die Grenz-t's, zu denen man auf dem vorgeschlagenen Wege als Ersatz für $t = \infty$ gelangt, nur sehr langsam mit n ansteigen. So hat man auf Grund unserer Fundamentaltabelle, unter Mitzuziehung ihrer, deshalb besonders beigefügten, Ergänzung, folgende zu folgenden Werthen von n zugehörige Grenz-$r'\,\%$ und Grenz-t's.

n	$r'\,\%$	Grenz-t
25	99,000	1,9849
30	99,167	2,0106
50	99,5	2,1379
100	99,75	2,2449
150	99,8333	2,3628
200	99,875	2,4187
500	99,950	2,5896

VII. Berechnungsweise der Constanten h, k nach F.

Zur Berechnung der Constanten h, k für einen gegebenen Hauttheil, reichen principiell die Beobachtungen $r'\,\%$ bei zwei verschiedenen D's auf dem betreffenden Hauttheil hin. Denn seien die beiden D resp. D_1, D_2, die dabei gefundenen $r'\,\%$ gleich r'_1, r'_2 und die daraus nach der Fundamentaltafel erhaltenen t gleich t_1, t_2, so hat man nach der secundären Formel die beiden Gleichungen:

$$hD_1 + k = t_1$$
$$hD_2 + k = t_2.$$

Der Abzug der ezsten von der zweiten Gleichung gibt:

$$h(D_2 - D_1) = t_2 - t_1$$

mithin:

$$h = \frac{t_2 - t_1}{D_2 - D_1}$$

und durch Substitution dieses Werthes von h in die eine oder andere der obigen Gleichungen:

$$k = t_1 - hD_1 = t_2 - hD_2.$$

Da die Bestimmung der Constanten aus Beobachtungen bloss bei zwei D's auf einer gegebenen Hautstelle keine grosse Sicherheit gewährt, zieht man im Allgemeinen eine Bestimmung aus einer grösseren Anzahl vor, nehmen wir beispielsweise 4, wie es bei den neueren Camerer'schen Handgelenkversuchen der Fall, wo die 4 Distanzen 1, 2, 3, 5 Mill. sind; und als Anhalt zur Erläuterung diene die Combination $F\,W\gamma$ in der I. Abtheilung dieser Versuche nach Beobachter I, wonach wir zu einander gehörig haben:

D	1	2	3	5
r' %	30,65	37,70	51,70	63,4
t	0,6654	0,7157	0,8282	0,9416

und somit durch successive Substitution der vier D's in die Gleichung $t = hD + k$ folgende vier Gleichungen erhalten:

$$1h + k = 0,6654$$
$$2h + k = 0,7157$$
$$3h + k = 0,8282$$
$$5h + k = 0,9416$$

Aus je zweien dieser Gleichungen lässt sich h, k bestimmen, was sechs mögliche Bestimmungen gibt (im Allgemeinen, wenn die Zahl der D gleich N ist, $\frac{N(N-1)}{2}$ Bestimmungen), die sich aber wegen unausgeglichener Zufälligkeiten etwas unterscheiden. Nun könnte man, um eine einheitliche Bestimmung aus ihnen zu

gewinnen, die Mittel aus den so erhaltenen sechs h, k nehmen, wird es aber, falls man nicht gleich zur Bestimmung nach der sichersten Methode, d. i. der Methode der kleinsten Quadrate, seine Zuflucht nehmen will, zunächst praktischer finden, anstatt jener vielfachen Bestimmungen die zwei Gleichungen mit den zwei kleinsten D und ebenso die zwei mit den zwei grössten D zu addiren, oder, sollte man beispielweise mit sechs Gleichungen zu thun haben, dies mit je drei derselben zu thun, womit man jedenfalls zwei resultirende Gleichungen erhält, die wie vorhin zur Bestimmung von h, k dienen können. In der That hat man solchergestalt in unserem Beispiel:

$$3h + 2k = 1,3811$$
$$8h + 2k = 1,7698$$

ferner durch Abzug der ersten Gleichung von der zweiten:

$$5h = 0,3887$$

mithin $$h = 0,07774$$

und durch Substitution dieses Werthes von h in die eine, beispielsweise die erste, beider Gleichungen:

$$0,23322 + 2k = 1,38110$$
$$2k = 1,14787$$
$$k = 0,57394$$

Diese, sehr leicht und einfach auszuführende und wegen der eben so leichten Revision nicht leicht Rechenversehen zulassende, Bestimmungsweise nenne ich die Summationsmethode, und bezeichne sie mit Summ.

Auch wenn die Zahl der D's und mithin Gleichungen unpaar ist, wird man von derselben Methode Gebrauch machen können, nur dass dann die k's nicht einfach durch Abzug der summirten Gleichungen von einander verschwinden; man wird aber die Aufgabe auf den einfachen Fall einer paaren Anzahl von summirten Gleichungen zurückführen können, indem man alle Gleichungen doppelt einführt, findet aber dabei, dass dies auf dasselbe herauskommt, als wenn man von den unpaaren Gleichungen die mittlere weglässt, indem bei Verdoppelung der Gleichungen die mittlere im

Resultat auf einer Seite als additiv, auf der anderen als substractiv in Rechnung kommt, was sich compensirt.

Um hiernach Rechnung mit Beobachtung zu vergleichen, substituirt man die gewonnenen Werthe h, k in die secundären Gleichungen für die verschiedenen D's und erhält hierdurch berechnete t's, aus diesen aber durch Rückgang auf die Fundamentaltafel berechnete r' %. Die Differenzen zwischen beobachteten und berechneten r' % nennen wir ε. Die Summe der Quadrate der ε kurz $\Sigma\varepsilon^2$ oder das mittlere $\varepsilon^2 = \frac{\Sigma\varepsilon^2}{n}$ ist für Sicherheitsbestimmungen maassgebend, worauf künftig zu kommen.

Nennen wir Kürze halber die zu den beobachteten r' % gehörigen t selbst beobachtete, indes die berechneten t, wie eben bemerkt, nach h, k erhalten sind, so können wir auch die Differenzen zwischen beobachteten und berechneten t in Betracht ziehen, und wollen diese mit Δ bezeichnen.

Hiernach haben wir überhaupt in unserem Beispiel:

D	r' % beob.	r' % ber.	ε	ε^2	t beob.	t ber.	Δ
1	30,65	28,64	— 2,01	4,040	0,6654	0,6517	— 0,0137
2	37,70	39,54	+ 1,84	3,386	7157	7294	+ 0,0137
3	51,70	49,26	— 2,44	5,954	8282	8072	— 0,0210
5	63,40	65,31	+ 1,91	3,648	9416	9626	+ 0,0210
			$\Sigma\varepsilon^2 = 17,028$				

Die Abweichungen ε sind ziemlich beträchtlich, sind aber nicht die definitiven, nach welchen später die Combination $F W\gamma$ zu beurtheilen ist, einmal, weil die Summationsmethode, bei der wir noch stehen, nicht die sicherstmögliche ist, zweitens, weil die vorigen Bestimmungen bloss von einer Versuchsperson herrühren; es haben aber fünf bei denselben D's beobachtet, und zur Ausgleichung ihrer Zufälligkeiten werden hiervon Mittelbestimmungen der h, k nach Methode T oder R des XI. Abschnittes zu nehmen sein, die dann ganz ebenso zu behandeln sind, als wenn man mit den

Versuchen einer einzelnen Person zur Gewinnung ihrer specialen *h, k* zu thun hätte; und so können wir die Erläuterung in dieser Hinsicht an dem vorigen einfachen Beispiel fortsetzen.

Nun erreicht man allerdings weder durch Mittelziehung aus den vielfachen Bestimmungen, noch durch die Summationsmethode die möglichst sichere, d. i. zum kleinstmöglichen $\Sigma\varepsilon^2$ führende, Bestimmung der Constanten, worauf es principiell abgesehen sein muss; sondern hierzu kann nur die, mit Qu. zu bezeichnende, Methode der kleinsten Quadrate führen, sofern diese eben darauf gestellt ist, bei Vorhandensein von mehr Gleichungen, als zur Bestimmung der Constanten hinreichen, diese so zu bestimmen, dass darnach die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den direct beobachteten Werthen, unsern Falls den r' %, und den nach den Constanten berechneten Werthen einen kleineren Werth erhält, als wenn man irgend welche andere Werthe der Constanten verwendete. Und da diese Methode in jedem Falle zu Gebote steht, so scheint es zunächst, dass man sich auch in jedem Falle daran zu halten und von der Summationsmethode ganz abzusehen habe.

Inzwischen ist die Methode Qu. viel umständlicher und mühsamer als Summ.[1]) und wegen der Menge der Operationen, die man dabei vorzunehmen hat, viel leichter Rechenversehen unterworfen, daher jedenfalls ungeübten Rechnern von Anwendung der Methode Qu. abzurathen. Meinerseits habe ich sie zwar überall für die Bestimmungen, auf denen zu fussen war, angewendet, dabei aber nie versäumt, eine vorgängige Bestimmung nach Summ. vorausgehen zu lassen, um darin, dass das nach Summ. gefundene $\Sigma\varepsilon^2$ nach Qu. abnahm, selbst einen gewissen Schutz gegen Versehen zu finden. Uebrigens ist der Vortheil, den man durch Qu. vor Summ. erhält, um so geringer, je grösser die Zahl und Sorgfalt der Versuche ist, so dass man mit zahlreichen und guten Versuchen auch bei Berechnung derselben nach Summ. zu seinen Zwecken kommen, und bei einer hinreichend grossen Anzahl von Versuchen mit Summ.

1) Dies gilt auch noch nach der Erleichterung, welche die Methode der kleinsten Qu. durch die sinnreiche Anwendung der Gewichte Γ Seitens Müller für die Zwecke unserer Methode erfahren hat, und von welcher ich selbst Nutzen gezogen habe.

sogar sicherere Resultate erhalten kann, als bei einer kleinen mit Qu. Eingehender hierüber in meiner Abhandlung p. 217 f.

VIII. Müller's Formel (M) und zugehörige Fundamentaltafel.

Der Aufstellung von Müller's Grundformel liegen folgende theoretische Voraussetzungen über das Spiel der Empfindlichkeit bei unseren Versuchen zu Grunde.

Unter Raumschwelle versteht Müller den Werth der Distanz D, unterhalb dessen die Distanz als einfach erscheint, d. i. nach mir ein z oder nach Müller ein f gibt. Müller denkt sich nun, dass dieser Werth im Laufe der Versuche nach Gauss'schem Fehlergesetze variirt; das Mittel dieser Werthe nennt er S und die durchschnittliche extensive Empfindlichkeit während der Versuche wird nach ihm reciprok dem Werthe S oder proportional mit $\frac{1}{S}$ gesetzt. Unter δ versteht er die zufälligen Abweichungen der Schwelle von ihrem Mittel S, unter δ_m den Durchschnittswerth derselben, und unter $h = \frac{1}{\delta_m \sqrt{\pi}}$ das Präcisionsmaass derselben im Sinne des Gauss'schen Gesetzes. Hiernach stellt er unter Setzung von $h\delta = t$, seine Grundformel in folgenden zwei Formen auf[1]):

1. Für den Fall, dass $\frac{r'}{n} > \frac{1}{2}$, hiermit $D > S$ ist:

$$\frac{r'}{n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{(D-S)h} e^{-t^2}) \, dt$$

2. Für den Fall, dass $\frac{r'}{n} < \frac{1}{2}$ hiermit $D < S$ ist.

$$\frac{r'}{n} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{(S-D)h} e^{-t^2}) \, dt$$

1) Wörtlich ist seine Ableitungsweise der Grundformel in meiner Abhandlung p. 195 ff. wiedergegeben.

woraus sich gemeinsam die secundäre Formel

$$t^{1)} = h(D - S) = hD - hS = hD - k$$

mit einer zugehörigen Fundamentaltafel ableitet, welche von der, für F gültigen, verschieden ist. Obwohl nun die Schwelle während der Versuche variirt, bleibt doch die mittlere Schwelle S sowie das Präcisionsmaass h constant, so lange die Empfindlichkeit nur durch Zufälligkeiten nach Gauss'schem Gesetze schwankt, was gestattet, für Rechnungszwecke das Product hS aus beiden Constanten in eine einfache Constante k zusammenzuziehen, woraus die dritte Form, in welcher die secundäre Formel auftritt, hervorgeht.

Die Fundamentaltafel für M stimmt ganz mit der Fundamentaltafel für die Gewichtsversuche überein, die schon in meinen „Element." I p. 104 ff. gegeben, und in meiner „Revision" p. 66 ff. wiederholt ist, wovon hier zur Bezeichnung des allgemeinen Ganges folgender Auszug genügen mag.

r' %	t	r' %	t
50	0,0000	80	0,5951
55	0,0890	85	0,7329
60	0,1791	90	0,9062
65	0,2795	95	1,1631
70	0,3708		
75	0,4769	100	∞

Es reicht hin, die Tafel von r' % $= 50$ an zu geben, indem Werthe von r' %, welche 50 % um irgend welchen Werth a untersteigen, also 50 % $- a$, dasselbe t, nur mit negativem Vorzeichen, haben, welches 50 % $+ a$ zukommt, wonach z. B. zu r' % $= 30$ der Werth t $= -0{,}3708$ gehört, indes zu r' % $= 70$ der Werth $t = +0{,}3708$ gehört.

Also während in der Fundamentaltafel für F die t's continuirlich von r' % $= 0$ bis r' % $= 100$ mit positiven Werthen bis zu t $= \infty$ aufsteigen, beginnt die Tafel für M bei r' % $= 0$ mit $t = -\infty$,

1) Müller selbst ersetzt in der secundären Formel t durch τ.

behält absteigende negative Werthe t bis r' % $= 50$ und steigt von da an mit positiven Werthen bis $t = +\infty$ bei r' % $= 100$ auf.

Wie leicht zu sehen, hat die secundäre Formel M, auf den Ausdruck $t = hD - k$ gebracht, eine ganz analoge Form angenommen, als die Formel F, d. i. $t = hD + k$, ist aber sachlich sehr davon verschieden, einmal, weil der Werth t zu $\frac{r'}{n}$ durch Vermittelung der verschiedenen Fundamentaltafeln in einer verschiedenen Beziehung zu D steht, zweitens weil h und k in beiden eine verschiedene Bedeutung haben, drittens, weil das Vorzeichen von k in beiden mit entgegengesetzten Vorzeichen behaftet ist; und es würde daher auch unzweckmässig sein, in beide dieselben Buchstaben t, h, k einzuführen, wenn nicht an der gemeinsamen Form gemeinsame Punkte der Berechnung hingen, deren Darstellung sich durch die gemeinsame Bezeichnung erleichtert. In der That kann hiernach das t beider Formeln in entsprechender Weise nach dem beobachteten r' % aus der zugehörigen Fundamentaltafel gefunden werden; die Constanten h, k können, nur mit Rücksicht auf das entgegengesetzte Vorzeichen von k, in entsprechender Weise aus den Versuchen nach Summ. oder Qu. abgeleitet werden; die äquivalenten Distanzen sind, immer nur mit Rücksicht einer Vertauschung des Vorzeichens von k für beide, nach beiden in derselben Weise zu bestimmen, und wenn Müller den Maassvergleich der Empfindlichkeit nicht auf die Aequivalenz der Distanzen, sondern die Grösse des $\frac{1}{S}$ gestützt haben will, so ist dies eben nur ein Abweis der Bedeutung der Aequivalenz für das Maass, indes die Formel M so gut als die Formel F einen Ausdruck dafür gibt.

Nun hat die Formel M für den ersten Anblick folgende Vorzüge vor der meinigen: sie fusst auf einer ganz rationell scheinenden Ableitung aus Grundbedingungen der Empfindlichkeit, und ihre Constanten haben in Bezug darauf bestimmt aussprechbare Bedeutungen; indes die Formel F sich nur auf die factische Repräsentirbarkeit der Versuche durch sie berufen kann, und die Constanten derselben nur durch ihre Leistungen in dieser Beziehung und ihre Abhängigkeitsverhältnisse charakterisirbar sind. Inzwischen

habe ich in meiner Abhandlung geltend gemacht, dass es von vorn herein misslich sei, eine Formel für unser Versuchsgebiet auf reine Theorie gründen zu wollen, da wir die Vorgänge, welche in demselben eine Rolle spielen, nicht hinreichend kennen, indes die Natur der Versuche selbst uns Anhaltspunkte für ihre Repräsentirbarkeit gibt; und habe ferner (p. 147 ff.) zu zeigen gesucht, wie grossen Schwierigkeiten die Vorstellungsweisen unterliegen, welche Müller der Aufstellung seiner Formel zu Grunde legt, begnüge mich aber hier, darüber auf die Abhandlung selbst zu verweisen, da diese Schwierigkeiten für sich allein doch nicht durchschlagen würden.

In der That würden sie an sich nicht hindern, dass Müller's Formel, wenn auch mit anderer Bedeutung der Constanten darin, sich empirisch brauchbar zeigte, und die letzte Entscheidung zwischen *M* und *F* wird daher auf empirischem Wege zu suchen sein, worauf später (im XII. Abschnitt) zu kommen, nachdem erst verschiedene andere Fragen, welche sich mit dieser Entscheidungsfrage compliciren, in Betracht gezogen sind.

IX. Unwissentliches, halbwissentliches und wissentliches Verfahren.

Die Versuche können unwissentlich (U.), halbwissentlich oder wissentlich (W.) angestellt werden. Ganz unwissentlich sind solche, wo das Versuchssubject weder vor noch nach dem Versuche mit Aufsetzen der Spitzen erfährt, wie gross der Abstand der Spitzen ist, und ob die Berührung bloss mit einer Spitze oder mit zwei Spitzen geschieht, halbwissentlich, wo das Versuchssubject nichts davon vor, noch während dem Versuche weiss, aber es nach dem Versuche erfährt; wissentlich, wo es schon vor dem Versuche und während desselben Kenntniss von den betreffenden Verhältnissen hat.

Natürlich muss bei dem unwissentlichen und halbwissentlichen Verfahren das Aufsetzen der Spitzen, statt vom Versuchssubject selbst, von einem Gehilfen geschehen. Es wird aus einem ganz unwissentlichen zu einem halbwissentlichen dadurch, dass, während das Versuchssubject während der Abgabe seines Urtheils selbst nicht

weiss, ob zwei oder eine Spitze aufgesetzt sind, ihm dies nachher vom Gehilfen mitgetheilt wird, um dem Versuchssubject selbst die Aufzeichnung des Resultates zu überlassen.

Bei den unwissentlichen und halbwissentlichen Versuchen werden den Hauptversuchen insgemein Vexirversuche eingeschaltet, um das Versuchssubject immer in Ungewissheit zu erhalten, ob eine oder zwei Spitzen aufgesetzt sind. Zwar gibt es in Camerer's älteren Versuchsreihen auch eine solche mit unwissentlichem Verfahren ohne Vexirversuche; hierbei aber konnte die Unwissenheit des Versuchssubjectes über das Aufsetzen von einer oder zwei Spitzen nur dadurch erhalten werden, dass diese Reihen unter anderen mit unterliefen, wo Vexirversuche eingeschaltet waren, ohne dass das Versuchssubject wusste, welcher Art die Reihen waren. Abgesehen von dieser Ausnahme ist das unwissentliche und halbwissentliche Verfahren überall solidarisch mit Einschaltung von Vexirversuchen zwischen die Hauptversuche gewesen.

Die Wissentlichkeitsfrage überhaupt aber kommt dadurch in Rücksicht, dass man von der Kenntniss der Distanzverhältnisse einen Einfluss auf das Urtheil über diese Verhältnisse besorgen kann, was sich doch vielmehr auf die reine Aussage der Empfindung gründen soll; und es kann daher von vorn herein nur als eine gerechtfertigte Vorsicht erscheinen, wenn Vierordt in den Tübinger Versuchen und Camerer in seinen älteren Versuchen sich von vorn herein dem halbwissentlichen oder ganz unwissentlichen Verfahren zugewandt haben. In der That sind die Tübinger Versuche halbwissentlich, die älteren Camerer'schen ganz unwissentlich, beide (abgesehen von obbemerkter besonderer Reihe Camerer's) mit Vexirversuchen gemischt angestellt, und erst in seinen neuen Versuchen hat Camerer einen ausdrücklichen Vergleich zwischen dem Erfolge rein wissentlicher ungemischter und ganz unwissentlicher, theils gemischter, theils ungemischter Versuche angestellt.

Der Grund aber, sich bei jener aprioristischen Voraussicht eines Nachtheiles der vollen Wissentlichkeit nicht zu begnügen, vielmehr ausdrückliche vergleichende Versuche in Bezug darauf anzustellen, lag in Erwägungen und Thatsachen, die ich schon früher gelegentlich der Besprechung meiner Gewichtsversuche geltend

gemacht („Elemente" I p. 118 ff., „Revision" p. 58 ff.), und die sich ganz auf unser Versuchsfeld übertragen lassen. Wegen der Wichtigkeit der Frage wird hier darauf zurückzukommen sein.

Man besorgt, wie gesagt, dass durch das Wissen, ob eine Spitze oder zwei Spitzen aufgesetzt sind, das Urtheil im Sinne dieses Wissens bestimmt und abgegeben werden könne, auch wenn ohne dieses Wissen nach dem reinen Eindrucke der Empfindung ein anderes Urtheil gefällt worden wäre; wonach durch das Nichtwissen die erforderliche Unbefangenheit erhalten werde. Nun weiss man aber auch, dass factisch der Eindruck von zwei Spitzen als einfach erscheinen kann, und dass die Absicht der Versuche selbst ist, die Fälle unterscheiden und zählen zu lassen, wo der von zwei Spitzen gemachte Eindruck einfach oder nicht einfach erscheint; ohne im einzelnen Falle voraussetzen zu können, welcher von beiden Fällen eintreten wird. Dieses Nichtwissen ersetzt meines Erachtens das Nichtwissen über das Aufsetzen von einer oder zwei Spitzen, indem es den Erfolg hat, dass sich nun die Aufmerksamkeit ausdrücklich auf den sinnlichen Eindruck mit dem Streben concentrirt, dessen Beschaffenheit rein aufzufassen. Jedenfalls habe ich selbst bei meinen wissentlichen Gewichtsversuchen das entschiedene Gefühl hiervon gehabt, und meine sogar, dass man wissentlich viel unbefangener über die Beschaffenheit des sinnlichen Eindrucks urtheilt, und der Einbildung die Möglichkeit, sich mit einzumischen, viel mehr erschwert, als wenn jeder Versuch sich mit der Frage complicirt, ob es nicht ein Vexirversuch sei.

Auch stimmen hiermit ganz Aeusserungen überein, welche man von den Experimentatoren Camerer und Volkmann in betreffender Hinsicht gethan findet, und die ich p. 127 ff. meiner Abhandlung wörtlich reproducirt habe.

Inzwischen lagen doch bisher keine directen vergleichenden Versuche zwischen wissentlichem und unwissentlichem Verfahren vor, und es ist daher ein besonderes Verdienst der neuen Camerer'schen Versuche, dass sie auf solche mit eingegangen sind. Ihre Resultate aber überwiegen im Ganzen zu Gunsten des wissentlichen Verfahrens, worauf später (im XII. Abschnitt) zurückzukommen.

X. Vexirversuche und Vexirfehler. Contrastverhältnisse.

Von den Tübinger Beobachtern sind die Vexirversuche, wie es scheint, ohne bestimmte Regel nach Zahl und Ordnung den Hauptversuchen eingeschaltet worden, wenigstens findet sich bei ihnen keine Angabe über die Einhaltung einer solchen. Es schien früherhin nichts darauf anzukommen. Eben so wenig findet sich von ihnen bemerkt, ob sie ordnungsmässig mit Aufsteigen und Absteigen der *D*'s auf demselben Hauttheil gewechselt haben; es lässt sich aber zeigen, dass beide Punkte einen sachlichen Bezug zu einander haben[1]. Hiergegen hat Camerer bei den Versuchen, die überhaupt mit Vexirversuchen gemischt waren, allen Hauptversuchen immer die gleiche procentale Zahl von Vexirversuchen eingeschaltet, wobei sich gezeigt hat, dass ein grosser Unterschied im Erfolge stattfindet, je nachdem die Versuche, Hauptversuche wie Vexirversuche, sich rasch genug folgen, dass die früheren Versuche einen Einfluss auf die späteren gewinnen können, was von den älteren Versuchen Camerer's gilt, oder so langsam (in Pausen von 5 Minuten bei Nr. 2 und 3, ½ Stunde bei Nr. 1), dass ein solcher Einfluss wegfällt, was von den neuen Versuchen gilt. Auch hat Camerer regelmässig mit Aufsteigen und Absteigen gewechselt. Hiernach lassen sich aus seinen Versuchen bestimmtere Schlüsse über die hier in Frage kommenden Verhältnisse ziehen, als aus den Tübinger Versuchen.

Aus den älteren (unwissentlichen) Versuchen Camerer's mit verhältnissmässig rascher Folge nun haben sich folgende drei bemerkenswerthe Thatsachen herausgestellt.

1. Nach Maassgabe als das *D* zunimmt, mit welchem die Hauptversuche angestellt werden, nimmt die relative Zahl der Vexirfehler bezüglich der eingeschalteten Zahl der Vexirversuche ab, und sofern

---

1) Sollten die Tübinger Versuche sich bei jedem Beobachter so langsam gefolgt sein, um als unabhängig von einander zu gelten, so würde nach den folgenden Betrachtungen weder in erster noch in zweiter Hinsicht auf die Einhaltung einer bestimmten Regel etwas ankommen; aber wenn schon sie sich langsamer als die älteren Camerer'schen Versuche gefolgt sein mögen, so doch nach den Erörterungen in Abschnitt VIII der Abhandlung gewiss nicht so langsam, um eine Abhängigkeit von einander ganz auszuschliessen.

diese immer den gleichen Procentsatz der Hauptversuche bilden, nimmt sie auch bezüglich der Zahl der Hauptversuche ab.

2. Die Hauptversuche mit Einschaltung von Vexirversuchen geben für dieselben D's grössere r' % als ohne Einschaltung von solchen.

3. Vergleicht man die r' %, welche für dieselben D's auf einem gegebenen Hauttheile bei Aufsteigen und Absteigen mit den D's erhalten werden, so zeigen sie sich, abgesehen von den kleinsten D's am Anfange der aufsteigenden Reihe und grössten D's am Anfange der absteigenden, in den aufsteigenden Reihen grösser als in den absteigenden; bei den kleinsten und grössten D's ist der Unterschied weniger constant in der Richtung.

Die Unterschiede sind nach allen drei Beziehungen gar nicht unbeträchtlich.

Kurz, es zeigt sich, dass die Combinationsweise von Vexirversuchen mit den Hauptversuchen und der Hauptversuche unter einander bei rascher Folge der Versuche einen entschiedenen Einfluss auf die Resultate hat; wonach Versuchsreihen, die nicht in diesen Beziehungen dieselben Regeln befolgen oder überhaupt keine Regeln befolgen, nicht streng mit einander vergleichbar sein können; es wäre denn, dass sie so langsam auf einander folgten, um als unabhängig von einander gelten zu können.

Ueberblickt man nun die obigen drei Punkte, so kann man nicht im Zweifel sein, dass dasselbe Contrastgesetz, was sich überall sonst zeigt, auch in unserem Versuchsfelde seine gewohnte Rolle spielt, und dadurch die grössere oder geringere Leichtigkeit, Vexirfehler zu begehen, begründet. Nämlich:

Das Grosse erscheint um so grösser, einem je Kleineren es gegenübertritt; das Kleine um so kleiner, einem je Grösseren es gegenübertritt: das Kleinste aber, was einer Distanz von gegebener Grösse gegenübertreten kann, ist eine Distanz gleich Null, wie solche beim Vexirversuch angewendet wird. Zwar könnte man sagen, ein Nichts kann nichts, also auch keinen Contrast wirken. Aber die einfache Berührung, welche das $D = 0$ gibt, kann durch die Empfindung oder Vorstellung, dass es eben eine einfache Berührung, die untere Grenze einer Distanz sei, allerdings etwas

wirken, und ist insofern keineswegs mit Wegfall einer Berührung überhaupt zu identificiren, die allerdings keinen Contrast hervorrufen kann. Hiernach:

1. Je grösser die Distanz D wird, bei welcher Vexirversuche eingeschaltet werden, desto schwerer findet es die Nulldistanz, im Contrast gegen das Grosse sich für die Empfindung oder Vorstellung zur Erscheinung einer Distanz auszudehnen, daher die Vexirfehler mit der Grösse des D abnehmen.

2. Wenn Nulldistanzen in Hauptdistanzen eingeschaltet werden, trägt der Contrast damit bei, das gegebene D vergrössert erscheinen zu lassen, und hiermit ein grösseres r' % herbeizuführen.

3. Bei der aufsteigenden Reihe wird jedes D durch den Contrast mit dem vorhergehenden kleineren D vergrössert, bei absteigender durch den Contrast mit dem vorhergehenden kleineren verkleinert. Da aber das kleinste D bei Aufsteigen, das grösste D bei Absteigen nichts hinter sich hat, womit es contrastirte, so leidet die vorige Regel dabei Ausnahmen.

Die Versuchsbelege zu vorigen Sätzen aus den älteren Versuchen Camerer's finden sich in meiner Abhandlung p. 132 ff. angeführt.

Es ist nun von grossem Interesse, mit den Ergebnissen dieser älteren Versuchsreihen, welche rasch hinter einander folgten, die der neueren zu vergleichen, wo jeder Versuch, Vexirversuch wie Hauptversuch, in einer ersten Abtheilung der Handgelenkversuche um ½ Stunde, in einer zweiten um 5 Minuten vom nächsten, an demselben Individuum angestellten, Versuche abstand, indem beidesfalls der Einfluss des Contrastes verschwunden war. Diese neueren Versuche waren ebenso unwissentlich als die früheren, theils gemischt, theils ungemischt, angestellt. Dabei zeigte sich, dass die Zahl der Vexirfehler merklich dieselbe in den gemischten und den ungemischten Versuchen blieb und keine bestimmte Abhängigkeit von der Grösse der D, wozwischen die Einschaltung geschahe, verrieth, indes aber die Zahl der Vexirfehler überhaupt erheblich grösser war, als bei den früheren sich rascher folgenden Versuchen; was sich so verstehen lässt, dass bei den früheren Versuchen die Nulldistanz durch ihren Contrast gegen die grösseren Distanzen

zwar nicht noch unter Null verkleinert erscheinen, wohl aber verhindert werden konnte, ebenso oft vergrössert zu erscheinen, als bei den neuen Versuchen, wo der zur Verkleinerung stimmende Contrast wegfiel.

Mit vorigen, die Vexirfehler betreffenden, Verhältnissen traf bei den neuen Versuchen zusammen, dass auch die r' % in den gemischten Versuchen nicht zahlreicher ausfielen, als in den ungemischten, ein Einfluss der Einmischung der Vexirversuche auf die Hauptversuche also wegfiel.

Insofern alle vorigen Ergebnisse der älteren wie neueren Versuche bei unwissentlichem Verfahren erhalten waren, fragte sich noch, wie sie sich bei wissentlichem Verfahren unter Ausschluss des Contrastes stellen. Hier fehlen nach Umständen die Vexirfehler entweder ganz oder treten nur sehr sparsam und unsicher auf. Ersteres finde ich nämlich bei mir selbst, wenn ich die Vexirversuche für sich ausserhalb eines Systemes von Versuchen, in welches auch Hauptversuche mit Distanzen eingehen, anstelle, indes Camerer letzteres innerhalb seines Systems solcher Versuche gefunden hat, wozu die Daten in meiner Abhandlung p. 138 ff. specificirt sind.

Mit allem Vorigen ist die Entstehung der Vexirfehler an sich selbst noch nicht aufgeklärt. Es erklärt sich nämlich durch den Contrast wohl, dass sie bei rasch hinter einander folgenden Versuchen häufiger zwischen kleinen als grossen D's erscheinen; aber warum erscheinen sie überhaupt bei Einschaltung in Hauptversuche mit irgend welchem D? Da Null D gegen jedes endliche D durch den Contrast, statt vergrössert, verkleinert erscheinen müsste, wenn etwas überhaupt kleiner als Null erscheinen könnte, so fragt sich, warum doch in gar nicht seltenen Fällen Null D bei Einschaltung zwischen Hauptversuchen mit D vergrössert erscheint, d. h. einen Vexirfehler gibt. Um so weniger kann der Contrast die Entstehung der Vexirfehler an sich selbst vermitteln, als, wie oben bemerkt, bei wegfallendem Contrast (durch vergrösserte Zwischenzeiten zwischen den Versuchen) die Vexirfehler nicht nur nicht schwinden, sondern häufiger werden, dabei Unwissentlichkeit vorausgesetzt.

Es muss also ein, abgesehen von Contrastverhältnissen vorhandener, Anlass sein, welcher eine einfache Berührung mitunter als eine breite oder gar doppelte erscheinen lässt, hiermit einen scheinbar richtigen Fall, d. i. Vexirfehler gibt.

Da der Verdacht nahe lag, dass die bei den Tübinger und älteren Camerer'shen Versuchen allgemein angewandten stumpfen Spitzen, Stecknadelkuppen oder Spitzen von Straminnadeln, leicht Anlass geben könnten, eine einfache Berührung ausgedehnt oder doppelt finden zu lassen, so lag hierin der Hauptgrund, bei den neuen Versuchen scharfe Spitzen anzuwenden; aber nach wie vor traten dabei Vexirfehler auf. Der Grund musste also anderswo liegen.

Nun liess sich noch an andere äussere Bedingungen denken, wovon die Vexirfehler abzuleiten, als wie ungleichförmiges Aufdrücken der Nadel, schiefes Aufsetzen derselben u. dergl., und möglich, dass solche Bedingungen unter Umständen wirklich dazu beitragen; ja Camerer selbst ist früher geneigt gewesen, den ganzen Ursprung der Vexirfehler in solchen zu suchen. Nachdem er jedoch gefunden, dass der Vexirversuch nicht bloss zum Urtheil „*u*" führen, sondern sogar deutlich den Eindruck der Doppelberührung (2 Sp.) machen könne, diess aber von äusseren Bedingungen jener Art nicht wohl anzunehmen sei, ist er vielmehr zu der Ansicht gekommen, „dass der Vexirfehler zum Theil von inneren Ursachen herrührt — wie man ja auch auf anderen Sinnesgebieten Erfahrungen darüber hat, dass die gespannte Erwartung auf das Eintreten einer Empfindung zu sog. Sinnestäuschungen Veranlassung gibt".

Diese Ansicht scheint mir selbst am meisten für sich zu haben; und mit Rücksicht darauf sind p. 136 ff. meiner Abhandlung die vorliegenden Thatsachen besprochen.

Müller hat in seiner Abhandlung die Erscheinung der Vexirfehler aus einem wesentlich anderen Gesichtspunkte als hier geschehen, betrachtet, indem er sie als ein Irradiationsphänomen glaubt fassen zu können. Es lagen ihm aber bei Aufstellung dieser Ansicht erst bloss die Tübinger Beobachtungen zu Gebote; und sie

zeigt sich der Erklärung der durch Camerer's Versuche aufgeschlossenen Verhältnisse dieser Fehler nicht gewachsen.

XI. Mittelbestimmungen der Constanten *h*, *k* aus den Beobachtungen verschiedener Beobachter.

Wenn mehrere Beobachter Versuche an demselben Hauttheil anstellen, so werden sich im Allgemeinen verschiedene Werthe r' % für dieselben D's bei ihnen ergeben und daraus verschiedene Werthe der Constanten h, k für sie folgen; man kann sich aber die Aufgabe stellen, mittlere Bestimmungen für diese Constanten aus ihren Versuchen zu erhalten.

Soll nun die Berechnung in dieser Hinsicht möglichst einfach werden, so müssen alle Beobachter sich mit einer gleichen Anzahl von Versuchen, einem gleichen n, bei allen in den Versuch gezogenen D's betheiligt haben, was in der That bei den Camerer'schen neuen Versuchen der Fall gewesen ist, und daher für das Folgende vorausgesetzt wird. An den Handgelenkversuchen hatten sich fünf, an den Stirnversuchen vier Beobachter in ganz vergleichbarer Weise betheiligt.

Es bieten sich nun zwei Wege der Mittelbestimmung dar, die ich als den Weg der mittleren r' und den Weg der mittleren t, kurz als R- und T-Verfahren unterscheide. Nach dem ersten summirt man die (irgendwie reducirten) r' %, welche von den verschiedenen Beobachtern bezüglich desselben D erhalten worden sind, gewinnt durch Division mit der Zahl der Beobachter, welche m sei, ein mittleres r' %, sucht hierzu in der Fundamentaltabelle das zugehörige t, und erhält so statt der m-Reihen eine einzige, die man nach den Regeln des vorigen Abschnittes behandelt, um damit ein mittleres h und k zu erhalten. — Nach dem zweiten, dem T-Verfahren, aber sucht man vorweg zu den einzelnen r' % der verschiedenen Beobachter für jedes D das zugehörige t, zieht hieraus das Mittel durch Division mit der Zahl der Beobachter, bestimmt hierzu nach der Fundamentaltafel rückwärts das zugehörige r' % und erhält solchergestalt wiederum eine einzige Reihe von r' % mit den zugehörigem t für die verschiedenen D, welche nach den Regeln des vorigen Abschnittes zu behandeln.

Beim Vergleich von Beobachtung mit Rechnung gelten als beobachtet für das R-Verfahren die unmittelbar erhaltenen mittleren *r'* %, für das T-Verfahren diejenigen *r'* %, welche man zu den mittleren *t* nach der Fundamentaltabelle findet, da sie, obwohl nicht selbst direct beobachtet, doch von direct beobachteten *r'* % im Sinne der gewählten Formel nach der Fundamentaltafel abhängen.

Zahlreiche Vergleiche zwischen den Ergebnissen der R-Methode und T-Methode findet man in den Tabellen B und C p. 167, 168 meiner Abhandlung. Im Allgemeinen ergibt sich daraus, dass, wenn selbst die *r'* % der verschiedenen Beobachter sehr stark von einander abweichen, doch beide Methoden zu wenig von einander abweichenden, in der Unsicherheit der Bestimmungen merklich mit aufgehenden, Werthen der Constanten *h* und *k* führen, und dass das $\Sigma\varepsilon^2$ bald nach der einen, bald nach der andern etwas überwiegt; so dass nicht leicht Anlass sein kann, das in praktischen Hinsichten vortheilhaftere R-Verfahren, dem, nach gewisser Hinsicht principiell richtigeren, T-Verfahren vorzuziehen. Es gilt nämlich in dieser Hinsicht Folgendes:

Das R-Verfahren ist jedenfalls weniger umständlich als das T-Verfahren, da man bei jenem nicht nöthig hat, wie bei diesem, das *r'* % jedes Beobachters einzeln in sein *t* zu übersetzen, um aus dem mittleren *t* der Beobachter erst das *r'* % abzuleiten, mit welchem als beobachteten das nach *h*, *k* berechnete zu vergleichen, sondern dieses mit dem direct erhaltenen mittleren *r'* % vergleichen kann. Ausserdem hat das T-Verfahren den Nachtheil, dass bei dem kleineren *n* der einzelnen Beobachter leichter Fälle *r'* % = *n* vorkommen, als bei dem summirten *n* sämmtlicher Beobachter; und wenn sich auch solche Fälle nach der S. 538 angegebenen Regel noch verwerthen lassen, wird es doch immer besser sein, sie zu vermeiden.

Also hat das R-Verfahren in jedem Falle wesentliche praktische Vortheile vor dem T-Verfahren, indes aber von der anderen Seite eben so gewiss, weil nicht nur theoretisch für normale Reihen[1])

---

1) d. h. deren *r'* % und mithin *t* einer richtigen Formel streng entsprechen.

leicht zu beweisen, sondern auch empirisch für solche (künstlich dargestellte) zu constatiren ist, dass, wenn man einfache arithmetische Mittelwerthe zwischen den *h*, *k* der einzelnen Beobachter verlangt, nach welchen die Empfindlichkeit der verschiedenen Hauttheile, bei denen sich diese Beobachter betheiligt haben, zu vergleichen ist, **nur** das T-Verfahren **streng** zum Zwecke führt.

Nimmt man freilich empirische Reihen, welche von einer normal construirten durch unausgeglichene Zufälligkeiten mehr oder weniger abweichen, so wird man in den *h*, *k*, die aus einer nach der T-Methode zusammengesetzten Reihe mehrerer Beobachter ableitbar sind, zwar mitunter sehr nahe, doch allgemein gesprochen nicht genau das Mittel der *h*, *k* wiederfinden, welche den componirenden Reihen zugehören[1]).

Andere Gesichtspunkte treten aber ein, wenn man den Vorzug zwischen zwei Formeln, wie *F* und *M*, oder überhaupt zwischen zwei Combinationen, wie $FW\alpha$, $FW\beta$ u. s. w. nach der Kleinheit des $\Sigma\varepsilon^2$, was sie für eine zusammengesetzte Reihe liefern, entscheiden will. Hier scheint mir nach der Besprechung p. 235 meiner Abhandlung der Vorzug des T-Verfahrens vor dem R-Verfahren auch principiell nicht entschieden. Bei dem geringen Unterschiede ihrer Ergebnisse wird man, allgemein gesprochen, kein wesentlich verschiedenes Resultat von Anwendung des einen und anderen Verfahrens erwarten können; der grösseren Sicherheit wegen aber habe ich im folgenden Abschnitt beide Verfahrungsweisen zugezogen.

XII. Erfahrungsmässige Beantwortung der drei ersten Hauptfragen dieser Untersuchung.

Diese Beantwortung ist einschliesslich in der Beantwortung der Frage nach dem Vorzuge zwischen den verschiedenen Combinationen $FW\alpha$, $FW\beta$ u. s. w. (S. 527) enthalten; näher zugesehen aber lösen sich die Combinationen in die Elemente *F*, *M*, *W*, *U*, α, β, γ auf, und hat die letzte Entscheidung sich hierauf zu beziehen, d. i., um auf die Bedeutung der Elemente selbst zurückzugehen, darauf,

1) Diese beschränkende Bemerkung ist den Ausführungen in meiner Abhandlung p. 233 hinzuzufügen.

ob man sich vielmehr für meine oder Müller's Formel (F oder M), vielmehr für das wissentliche oder unwissentliche Verfahren (*W* oder *U*), vielmehr für diese oder jene Reductionsweise der Fälle (α, β, γ) zu entscheiden hat.

Nun tritt uns freilich von vorn herein die Schwierigkeit entgegen, dass die Erfahrung die verschiedenen Elemente, um deren Vorzug sich's handelt, nicht isolirt, sondern eben nur in Combinationen für die Untersuchung darbietet, deren nach S. 527 im Ganzen zwölf zu berücksichtigen sind. Also kann der erfahrungsmässige Vorzug des einen oder anderen Elementes nur aus vergleichungsweiser Prüfung der Combinationen, worein dasselbe Element eingeht, mit anderen Combinationen, worein es bei Gleichheit der übrigen Elemente nicht eingeht, erschlossen werden. Aber es fragt sich nun vor Allem, auf welche Kriterien der Vortheil oder Vorzug der einen vor der anderen, und in Folge dessen des einen Elementes vor dem anderen überhaupt zu gründen sei; und in dieser Hinsicht wird zunächst folgender Gesichtspunkt als maassgebend anzusehen sein.

Jede andere Combination führt nach der, im VII. Abschnitt bezüglich *F* besprochenen, und nach S. 546 auf *M* übertragbaren, Berechnungsweise zu anderen Werthen der Constanten *h*, *k*, welche man für die neueren Camerer'schen Versuche, an die wir uns hier halten, in der Tabelle B p. 167 der Abhandlung verzeichnet findet, wonach man durch Substitution derselben in die Gleichung

$$t \pm hD = k$$

für jede andere Combination andere berechnete Werthe t und dazu nach der Fundamentaltafel gehörige Werthe r' % erhält, die sich mit den beobachteten r' % vergleichen lassen. Zu einer je kleineren Summe von Quadraten der Abweichung zwischen beobachteten und berechneten r' %, kurz zu einem je kleineren $\Sigma\varepsilon^2$ nun eine gegebene Combination führt, für desto besser werden wir die Combination halten. Dies das allgemeinste und zugleich Hauptkriterium, woran ich mich gehalten habe; und zwar habe ich dasselbe, theils zur besseren Ausgleichung der Zufälligkeiten, theils zur Abkürzung der Untersuchung vorzugsweise auf die Mittelreihen der fünf oder vier Beobachter angewandt.

Es würde nun die diesem Auszuge zu steckenden Grenzen weit überschreiten, der Durchführung dieses Kriteriums durch die verschiedenen in Betracht zu ziehenden Reihen zu folgen; es muss hier genügen, folgende Resultate daraus anzuführen.

1. Wenn man die älteren Camerer'schen Versuchsreihen, welche unwissentlich und mit störender Einmischung von Vexirversuchen angestellt sind, dem Kriterium unterwirft, bleibt der Vorzug zwischen F und M zweifelhaft. Geschieht es aber mit den neuen Versuchen, welche jenem störenden Einflusse entzogen sind, so fällt der Vorzug ganz entschieden sowohl bei wissentlichem als unwissentlichem Verfahren und nach den verschiedensten Reductionsweisen auf Seiten von F.

2. Das wissentliche Verfahren W beweist in den beiden grossen Abtheilungen der neuen Handgelenkversuche einen entschiedenen Vorzug von dem unwissentlichen U, indes die Stirnversuche, welche jedoch nach p. 157, 239 der Abhandlung minder sicher sind, allerdings vielmehr für den Vorzug von U sprechen.

3. Die Reductionsweise γ, nach welcher die unbestimmten Fälle u halb zu den entschieden richtigen geschlagen werden, um damit das in die Fundamentaltafel einzuführende r' % zu erhalten, zeigt sich vortheilhafter als α und β.

4. Nach allem ist unter den obigen zwölf Combinationen die Combination $F\,W\gamma$ vorzuziehen.

Zum vorigen Kriterium von allgemeinster Tragweite lassen sich noch folgende zuziehen, die ich als Specialkriterien bezeichnet habe.

Erstes Specialkriterium. Dieses ist aus dem bezugsweisen Gange zwischen den Differenzen der r' % und zugehörigen D zu gewinnen, und von Müller in einer, früher mit ihm gepflogenen, Correspondenz gegen eine, damals von mir versuchte, Formel triftig geltend gemacht worden, ja würde auch gegen die jetzige entscheiden, wenn man sich an die Tübinger Versuche, welche damals erst allein vorlagen, oder auch an die älteren Camerer'schen Versuche halten dürfte. Nach den neuen maassgebenderen Camerer'schen Versuchen aber wendet sich der Vortheil des Kriteriums vielmehr zu Gunsten von F; und schon aus der Discussion eines in die Frage ein-

schlagenden Theils der älteren Versuche erhellt, an welchem Fehler der älteren Versuche das scheinbar günstige Resultat derselben für *M* hängt. Das Wesentliche des Kriteriums ist dieses:

Beim Aufsteigen der r' % von 0 bis 50 steigen nach den, die beiden Formeln repräsentirenden, Fundamentaltafeln für *F* und *M* die *t* für *F* in der Weise mit auf, dass gleichen Differenzen aufsteigender *t* abnehmende Differenzen der r' % zugehören, hingegen für *M* in der Weise, dass gleichen Differenzen der *t* wachsende Differenzen der r' % zugehören[1]); sofern aber $t = hD \pm k$ ist, und *h* wie *k* constant ist, sind den Differenzen von *t*, in welchen *k* verschwindet, die Differenzen der *D* proportional, und können für unser Kriterium den Differenzen der *t* substituirt werden, wonach dieses Kriterium sich so gestaltet.

Nehmen wir eine Versuchsreihe, in welcher wie gewöhnlich die *D*'s um gleiche Differenzen vorschreiten, mit den zugehörigen r' % beispielsweise:

$$D = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5$$
$$r'\,\% = a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5$$

und führen sie so weit fort, oder ziehen sie so weit in Betracht, dass $r'\,\% = 50$ zwischen die zwei höchsten Werthe, also im Beispiel zwischen a_4 und a_5, zugehörig zu $D = 4$ und 5, fällt. Die Differenz $a_5 - a_4$ zwischen den höchsten *a* heisse *q*. Nach *F* nun wird diese Differenz kleiner, nach *M* aber grösser sein, als jede rückliegende Distanz $a_4 - a_3$, $a_3 - a_2$ u. s. w., umsomehr, je weiter letztere Distanz rückliegt. Also wird der Unterschied in dieser Hinsicht be- *F* und *M* am meisten betragen, wenn wir *q* mit der am weitest rückliegenden Differenz $a_2 - a_1$, welche *p* heisse, vergleichen. Und so kommt das Kriterium einfach darauf hinaus, dass man bei Reihen, in welchen *D* um gleiche Differenzen vorschreitet, *p* grösser oder kleiner als *q* findet. Erstenfalls ist für *F*, zweitenfalls für *M*

---

1) Dies lässt sich allerdings nicht direct aus den Fundamentaltafeln finden, weil darin nicht die *t*, sondern die r' % um gleiche Differenzen vorschreiten; aber indirect insofern, als, wenn gleichen Differenzen von *t* wachsende oder abnehmende Differenzen von r' % zugehören, umgekehrt gleichen Differenzen von r' % abnehmende oder wachsende Differenzen von t zugehören, wonach man die obigen Angaben verificiren kann.

entschieden. Sollte die Reihe nicht bis r' % = 50 reichen, so hätte man als q die Differenz zwischen den zunächst rückliegenden r' % zu nehmen.

Freilich lässt sich dies Kriterium nicht auf alle Reihen, mit denen man zu thun hat, anwenden, weil manche bloss Werthe von r' % über 50 enthalten, andere nicht hinreichende r' % unter 50, um den Vergleich anzustellen, auch bei manchen die D nicht um gleiche Differenzen fortschreiten. Indessen liegen doch sowohl von älteren als neueren Versuchen Camerer's Fälle vor, um die vergleichende Prüfung daran vorzunehmen.

Zweites Specialkriterium. Soll von zwei Formeln, wie F und M, die eine besser als die andere passen, so muss sie nicht bloss zu den Ergebnissen der Hauptversuche mit grösseren und kleineren D, sondern auch der Vexirversuche bei $D = 0$ besser passen, und hiermit die Vexirfehler besser unter sich fassen, sofern die Vexirfehler nichts anderes sind, als Werthe r' % bei $D = 0$. Der Werth $D = 0$ ist aber nur ein besonderer Fall, der Grenzfall der Werthe D, für welche die allgemeine Formel gelten soll.

Drittes Specialkriterium. Je nach dem Verfahren W oder U, oder der Reductionsweise α, β, γ erhält man aus übrigens vergleichbar angestellten Beobachtungen verschiedene Werthe r' %. Normalerweise sollten diese mit der Grösse der D ansteigen, aber es kommen mitunter derartige Verkehrtheiten vor, dass dem kleineren D ein grösseres r' % entspricht, was stets als ein Nachtheil der Combination, der es begegnet, anzusehen ist.

Viertes Specialkriterium[1]. Anstatt nach früher gegebener Anleitung die Constanten h, k aus dem ganzen Zusammenhange einer Reihe unter Zuziehung ihrer sämmtlichen D's, abzuleiten, welche nach ihrer Grössenfolge a, b, c, etc. heissen mögen, kann man eine Specialbestimmung derselben aus a und b, eine zweite aus b und c u. s. f., kurz so viele Bestimmungen der Constanten gewinnen, als es Paare successiver D's gibt. Je besser nun die so erhaltenen successiven Bestimmungen der Constanten mit

1) In meiner Abhandlung ist das obige Specialkriterium nur nachträglich p. 262 der Abhandlung noch besprochen.

einander übereinstimmen, wenn man mit einem Hauttheile von merklich gleichförmiger Empfindlichkeit in seiner Ausdehnung zu thun hat, desto mehr spricht es für den Vorzug der betreffenden Combination.

Alle diese Specialkriterien sind von mir zum obigen allgemeinsten mit zugezogen worden, und haben sich damit zu denselben Resultaten vereinigt.

XIII. Näheres über die Bedeutung und die Abhängigkeitsverhältnisse der Constanten *h*, *k*.

Da nach Allem die Müller'sche Formel den Beobachtungen gegenüber nicht Stand hält, so unterlasse ich, auf die Verhältnisse ihrer Constanten näher einzugehen, und beschränke mich darauf, die Verhältnisse der meinigen näher zu besprechen.

In formeller Hinsicht ist zu bemerken, dass, wenn die Einheit, auf welche D bezogen wird, geändert wird, der Werth k keine Veränderung dadurch erleidet, wogegen sich der Zahlausdruck von h im directen Verhältnisse der Einheit, mithin im umgekehrten Verhältnisse des Zahlausdruckes von D ändert (p. 257).

In sachlicher Hinsicht sind namentlich die, (p. 170 ff. mitgetheilten), Versuche Volkmann's von fundamentaler Wichtigkeit, indem sie mit grosser Entschiedenheit zeigen, dass das, durch Vermehrung des r'% angezeigte, Wachsthum der Empfindlichkeit, sei es wegen wachsender Uebung oder künstlicher Hautverdünnung gar nicht von Vergrösserung des h, sondern nur des k abhängt. Denn der Werth h ändert sich dabei im Allgemeinen nicht mehr, als auf Rechnung unausgeglichener Zufälligkeiten zu schreiben, indes k entschieden in positivem Sinne wächst oder selbst aus negativ in positiv übergeht. Hieraus aber folgt weiter, dass k nicht, wie ich früher geneigt war anzunehmen, wesentlich als Sache eines, nur mit h complicirten, constanten Fehlers anzusehen ist, da der Einfluss der Uebung und Hautdünne nicht diese Bedeutung haben können. Obwohl, im Falle wirkliche constante Fehler als Vergrösserungen oder Verkleinerungen von D auftreten, diese sich mit auf k werfen müssen. Denn sei c ein constanter Fehler, um den

D vergrössert oder verkleinert erscheint, und k' der davon unabhängige Theil von k, so wird man zu setzen haben:

$$t = h(D + c) + k' = hD + hc + k'$$

Das Product hc der Constanten h, c aber wird für die Rechnung mit k' zu einer einzigen Constante k verschmelzen.

Dass h und k auch bei möglichst vergleichbar gehaltenen Versuchen doch verschieden für verschiedene Beobachter ausfallen können, lässt sich von vornherein wahrscheinlich finden, und bestätigt sich durch die Tabelle D p. 169 der Abhandlung, wo die Werthe h, k für verschiedene Combinationen in Nr. 1 und 2 bezüglich der Beobachter I, II u. s. w. angegeben sind. Halten wir uns dabei an die maassgebendsten Bestimmungen, d. i. die nach Qu. für $F W\gamma$ und $F W\beta$ gefundenen, so zeigt sich bei Handgelenk wie Stirn, dass k nur in verhältnissmässig engen Grenzen, h aber in viel stärkerem Verhältnisse vom Einfachen bis über das Doppelte, selbst bis zum Dreifachen schwankt.

Die Abhängigkeitsverhältnisse der h, k von der Verschiedenheit der Reductionsweisen α, β, γ und dem Unterschiede von wissentlich und unwissentlich lassen sich nach der Tabelle B p. 167 der Abhandlung beurtheilen, wobei in Mitrücksicht kommt, dass an den Ergebnissen dieser Tabelle Vexireinfluss und davon abhängiger Contrasteinfluss keinen Antheil haben. Allgemein zeigt sich hierbei für F sowohl bei Nr. 1 als 2 als 3, sowohl bei W als U, sowohl nach T als R, dass h wie k grösser nach β als nach α ausfällt, indes γ eben so allgemein zwischen beiden steht, und dass W grössere, h aber kleinere k als U gibt. Letzteres nur mit einer ganz schwachen Ausnahme in Nr. 2 nach T bezüglich des Verhältnisses zwischen $F W\beta$ und $F U\beta$ (die ich auch durch Revision der Rechnung nicht wegzubringen vermag), indem sich hier k für $F W\beta = 0{,}692$, für $F U\beta = 0{,}685$ findet; wogegen nach R eine entsprechende Annäherung an die Gleichheit im normalen Sinne besteht.

In jedem Falle ist k nach der secundären Formel $t = hD + k$ der Werth von t, welcher dem Werthe $D = 0$, mithin dem Vexirversuch zugehört. Nun gibt die Fundamentaltafel für $r'\,\% = 0$

den Werth $t = 0{,}4769$; und es kann der doppelte Fall eintreten, dass aus den Versuchen nach der angegebenen Herleitungsweise ein k über 0,4769 oder ein solches unter 0,4769, wohin also auch ein negatives k gehört, folgt. Im ersten Falle erhält man in dem r' %, was in der Fundamentaltafel zu $t = k$ gehört, für den Vexirversuch ein positives reales r' %. Im zweiten Falle aber findet sich in der Fundamentaltabelle kein $t = k$, weil die Tabelle mit 0,4769 beginnt, mithin auch kein reales r' % für den Vexirversuch. Je tiefer nun k unter den Werth 0,4769 sinkt, desto weiter entfernt sich r' % von der Realität, oder sinkt desto tiefer unter die Schwelle, und um ein Maass dafür zu haben, kann man dem r' %, was zu einem $k = 0{,}4769 - a$ gehört, einen ebenso grossen negativen, d. i. imaginären, Zahlwerth beilegen, als einem Werthe $k = 0{,}4769 + a$ mit positiven Vorzeichen, das r' % zugehört. Nur gehört zur Gültigkeit der vorigen Bestimmungen, dass die Versuchsreihen, aus welchen h und k abgeleitet sind, contrastfrei (also nicht durch eingeschaltete Vexirversuche alterirt) sind; weil die Formel dies voraussetzt.

Der Schwellenwerth der extensiven Empfindung findet statt, wenn r' % mitten innen zwischen positiven und negativen Werthen, gerade $= 0$ ist, und da dies bemerktermaassen beim Werthe $t = 0{,}4769$ der Fall ist, so bestimmt sich der Werth von D als Schwellenwerth durch die Gleichung

$$t = hD + k = 0{,}4769;$$

was gibt

$$D = \frac{0{,}4769 - k}{h}$$

Wenn nun $k > 0{,}4796$, so wird das den Schwellenwerth repräsentirende D negativ, mithin unmöglich, da es ebensowenig negative D's als negative r' %'s geben kann, d. h. es gibt für diesen Fall keinen Schwellenwerth, indem selbst beim Vexirversuch noch positive r' %'s erhalten werden (Abhandlung p. 201 ff.).

Eine Consequenz der vorigen Bestimmungen ist, dass, wenn in einer Versuchsreihe bei einem gegebenen D gar kein Werth r' % erhalten worden ist, derselbe doch rechnungsweise nicht als null angenommen werden darf, sofern dessen genaues Eintreffen eine

unendlich geringe Wahrscheinlichkeit hat, sondern es ist ein unbekannter Werth unter der Schwelle, d. i. negativer Werth, dafür anzunehmen, der zwar nicht durch directe Beobachtung, wohl aber im Rechnungswege vom Nullwerth unterscheidbar ist.

XIV. Beziehung der Methode der richtigen und falschen Fälle zur Methode der Aequivalente.

Die, in meinen „Element.“ I. p. 131 ff. kurz besprochene, Methode der Aequivalente besteht in Anwendung auf unser Untersuchungsgebiet wesentlich darin, dass man auf zwei Hauttheilen, deren extensives Empfindlichkeitsverhältniss festzustellen ist, die Zirkeldistanzen bestimmt, welche unmittelbar für die Empfindung gleich gross erscheinen, und die Empfindlichkeit der betreffenden Hauttheile diesen, auf ihnen äquivalent scheinenden, Distanzen umgekehrt proportional setzt.

Nun haben wir auch bei unserer Methode der *r.* u. f. *F.* von äquivalenten Distanzen insofern gesprochen, als wir diejenigen Distanzen als solche bezeichnen, welche auf den, ihrer Empfindlichkeit nach zu vergleichenden, Hauttheilen das gleiche *r'* % geben, und haben die Empfindlichkeit diesen Distanzen umgekehrt proportional gesetzt.

Jetzt fragt sich, ob die nach der einen Methode erhaltenen Vergleichsmaasse dasselbe Verhältniss einhalten, als die nach der anderen Methode erhaltenen.

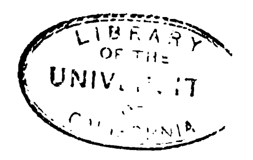
Hierüber ist gegen den Schluss meiner Abhandlung eine vorläufige Untersuchung angestellt, nach welcher, soweit die Data dazu reichen, die nach der Methode der *r.* u. f. *F.* gefundenen Aequivalenzverhältnisse weiter von dem Einheitsverhältnisse abweichen, als die nach der Methode der Aequivalente auf denselben Hauttheilen gefundenen. Da aber diese Untersuchung noch nicht abgeschlossen ist, und Dr. Camerer eine Fortführung derselben durch neue Versuche in die Hand genommen hat, gehe ich hier nicht näher darauf ein.

Nachtragsbemerkung zu Abschnitt V.

Unstreitig würden die, auf S. 534 ff. besprochenen Maassverhältnisse sich sehr vereinfachen, wenn sich meine frühere Annahme

halten liesse, dass das k in der Formel $t = hD + k$ bloss als Sache constanter Fehler zu betrachten, hiermit die extensive Empfindlichkeit einfach dem Werthe h proportional zu setzen sei; und jedenfalls haben constante Fehler, wo solche vorliegen, am Werthe von k Antheil. Auch sind es bisher bloss die, S. 528, 562 erwähnten, Volkmann'schen Versuche, welche hindern, k nur von solchen abhängig zu machen. Indes erweckt es nach einer, mir nachträglich von Dr. Camerer triftig gemachten Bemerkung, Verdacht, dass die höchsten Uebungsstände bei den in meiner Abhandlung nachzusehenden Volkmann'schen Versuchen so grosse Werthe k, und hiermit nach Berechnung daraus, so grosse Zahlen für die Vexirfehler geben, wie solche, namentlich bei wissentlichem Verfahren, durch directe Versuche bei $D = 0$, unmöglich erhalten werden können. Directe Bestimmungen der Vexirfehler bei $D = 0$ liegen aber Seitens Volkmann's nicht vor. Wonach man den Versuchen Volkmann's noch nicht ganz zu trauen haben dürfte und eine Wiederholung derselben mit grösseren Versuchszahlen erwünscht sein möchte. Inzwischen, wenn auch der Werth des k durch diese Versuche zu gross gefunden ist, scheint es doch bei der Entschiedenheit, mit welcher sich die Abhängigkeit des k bei constantem h, von Uebung und Hautdünne herausgestellt hat, schwer denkbar, dass sie in dieser Beziehung gefehlt haben sollten, und wird man darnach die wesentliche Betheiligung des k am Empfindlichkeitsmaass, wie sie von mir aus den Volkmann'schen Versuchen gefolgert worden ist, auch ferner zugeben müssen; wenn man nicht etwa folgender Hypothese Raum geben will, die ich doch nur mit grosser Zurückhaltung vorbringe. Die nach k rechnungsweise bestimmbaren Vexirfehler hängen bemerktermaassen (S. 554) nach Müller überhaupt von einer, um die aufgesetzten Spitzen sich ausbreitenden, Irradiation ab. Nun hindern zwar Camerer's Versuche, sie bloss davon abhängig zu machen; aber es ist nicht dadurch ausgeschlossen, dass die Irradiation ausser constanten Fehlern anderer Art mit daran Antheil habe. Liesse sich nun annehmen, dass durch vermehrte Uebung und Hautdünne, die Haut befähigt würde, grössere Irradiationskreise zu geben, und hiermit k wachsen zu lassen, ohne dass der den Distanzen proportionale

Werth hD in der Formel $t = hD + k$ mit wüchse, und ziehen wir in Betracht, dass die Irradiation ein, als constanter Fehler anzusehender Nebenumstand ist, welcher die Empfindlichkeit an sich nichts angeht, so würde allerdings das extensive Empfindlichkeitsmaass bloss mit h proportional zu nehmen sein. Nun kann man es unwahrscheinlich finden, dass die Uebung bloss auf die Aenderung der Irradiation, nicht zugleich auf Aenderung des wesentlichen Empfindlichkeitsmaasses h Einfluss haben sollte; aber auch gegenbemerken, dass, da der Werth h bei gleich bleibender Uebung, Hautdünne und Distanz sich noch nach Beschaffenheit der Hauttheile und Individuen ändert, es wohl sein könnte, dass er sich überhaupt nur darnach ändert und eben dadurch zum eigentlichen Maasse der extensiven Empfindlichkeit wird, indes alle anderen Umstände, wie Uebung und Hautdünne, nur die dafür unwesentliche Constante k beeinflussen. Man wird ferner einem, von Dr. Camerer erhobenen Bedenken Rechnung zu tragen haben, wonach Hautdicke eher förderlich als hinderlich für Ausbreitung der Irradiation sein müsse; doch wird sich wieder gegenbemerken lassen, dass aber die Intensität der Irradiation grösser sein müsse, wenn die Spitzen unmittelbar auf die Nervenenden oder eine dünne Zwischenhaut als auf eine dicke aufgesetzt werden, wonach der Irradiationsreiz in um so kleinerer Entfernung von den Spitzen unter die Schwelle fallen muss, je dicker die Haut. Bei wenig verbreiteter und wenig intensiver Irradiation kann der ganze Einfluss derselben unter die Schwelle fallen; dann fehlen Vexirfehler ganz, was einem Werthe k unter 0,4769 entspricht. Ohne hiernach die Hypothese für erwiesen zu halten, möchte ich sie doch der Beachtung nicht unwerth halten.



Die Methode der richtigen und falschen Fälle angewendet auf den Geschmackssinn.

Von

Dr. W. Camerer.

Wenn man nach obiger Methode auf irgend einem Sinnesgebiete Versuche anstellt, so gestatten dieselben bei einigermassen zweckmässigem Verfahren ohne Weiteres einen beiläufigen Schluss auf die Feinheit des untersuchten Sinnes, gewähren aber damit keineswegs ein scharfes Maass derselben. Für die Psychophysik ist es nun, wie für jede andere Disciplin, von grösster Wichtigkeit, ihre Versuchsmethoden so auszubilden, dass exacte Resultate erzielt werden können. Für unsere Methode und das Gebiet der Unterschiedsempfindlichkeit hat dies Fechner schon längst durch Anstellung ausgedehnter Versuchsreihen und Ermittelung des geeigneten Rechnungsverfahrens geleistet; neuerdings ist dasselbe unserer gemeinsamen Arbeit gelungen, auch bei solchen Versuchen, welche sich auf Schätzung absoluter Grössen bezogen, nämlich auf dem Gebiete des Tastsinnes. Es war nun weiter von Interesse zu untersuchen, ob das hier, also bei Beurtheilung extensiver Grössen, Bewährte auch auf die Beobachtung intensiver Grössen Anwendung finden könne. Hierzu stehen nun eben Versuche von mir, den Geschmackssinn betreffend, zu Gebote; sie sind zum Theil in den Jahren 1867—1870 angestellt, zum Theil 1883 und 1884, und von den älteren Versuchen habe ich einige schon veröffentlicht, nämlich in Pflüger's Archiv Jahrgang 1870 S. 322 ff., und in

dieser Zeitschrift S. 440 ff. desselben Jahrganges und ich verweise wegen der Einzelheiten der Versuche auf diese Arbeiten. Die wenigen Tabellen, welche aus denselben hier zu wiederholen sind, werden mit * bezeichnet.

Zu den Geschmacksversuchen dienten gewöhnlich Kochsalzlösungen, deren Gehalt an Kochsalz für 1ccm Salzlösung in Milligramm angegeben ist wie folgt:

1ccm Lösung enthält Milligramm Kochsalz.

2,5	1,272	0,954	0,636	0,477	0,318	0,238
15,72	8	6	4	3	2	1,5
0,159	0,106	0,079	0,040	0,035	0,020	
1	0,67	0,5	0,25	0,22	0,125	

Die klein gedruckten Zahlen (15,72; 8; 6 etc.) sind die Verhältnisszahlen der Concentrationen, an welche ich mich in Folgendem der Kürze halber halten werde (mit einer am gegebenen Platz bemerkten Ausnahme). Es sei angeführt, dass Salzlösungen, welche schwächer sind als Nr. 4, nie deutlich salzig schmecken, solche unter Nr. 1 für den Ungeübten ganz und gar den Geschmack des zur Lösung verwendeten Wassers haben; es ist selbstverständlich besonders schwierig, über den Eindruck dieser schwächsten Lösungen ein Urtheil abzugeben. Wo nicht anderes angegeben ist, wurde eine gewisse Menge der Salzlösung, 30ccm oder 10ccm in den Mund genommen, dort bis zu eintretender Empfindung ruhig gehalten und sodann ausgespieen, so dass also die hinteren Partien der Zunge nicht schmeckten. Die Versuchspersonen sind I ich selbst, II meine Frau, beide bei den älteren Versuchen 25—28, bei den neueren 40—42 Jahre alt; III und IV meine ältesten Töchter, zur Zeit der Versuche 15—16 und 13—14 Jahre alt; V eine Schwester von mir, zur Zeit der Versuche 18 Jahre alt. Was unter wissentlichem und unwissentlichem, gemischtem und ungemischtem Verfahren zu verstehen ist, setze ich als bekannt voraus. Die Urtheile der Versuchspersonen lauteten: 1. „Salz“ = ein richtiger Fall; 2. „unbestimmt“; 3. „Wasser“ = ein falscher Fall; n bedeutet die Anzahl der gemachten Versuche, r die Anzahl der richtigen Fälle, u die Anzahl der unbestimmten Fälle, z die Anzahl der falschen Fälle.

$r + u + z = n$. In den Tabellen sind durchaus Procentwerthe angegeben, d. h. die r und u so umgerechnet, als ob $n = 100$ gewesen wäre. $r' = r + \frac{u}{2}$.

Tabelle I*

(unwissentlich, gemischt, 30ccm in Mund genommen).

Verhältniss der Concentration	1	2	3	4	6	Wass.	Zeit	n für Beobachter u. Concentration
	r'	r'	r'	r'	r'	r'		
Beobachter I	12	34	69	87	99	6	Nov. u. Dec. 1867 Vorm. 10—12 Uhr	50
Beobachter II	2	62	84	90	100	5		
Beobachter I	15	42	82	93	98	2	wie oben Abends 8—10 Uhr	50
Beobachter II	6	57	84	96	98	5		

Diese Versuche sind eine Auswahl aus einer etwas grösseren Anzahl von Versuchen, welche in den angegebenen Monaten gemacht wurden; es stehen nämlich für Beobachter und Concentration 84 Morgen- und 52 Abendversuche zu Gebot, insgesammt also 136. Für Tabelle I wurden davon diejenigen ausgewählt, welche am Morgen und Abend desselben Tages oder zweier unmittelbar auf einander folgender Tage gemacht wurden. Tabelle II enthält die Resultate sämmtlicher damals gemachter Versuche; ihr n also $= 136$.

Tabelle II.

Verhältniss der Concentration	1			2			3			4			6			Wasser		
	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'
Beobachter I	5,9	10,3	11,0	19,8	30,9	35,2	62,5	18,4	71,7	81,6	8,1	85,6	97,8	2,2	98,9	2,2	3,7	4,0
Beobachter II	5,1	8,1	9,1	44,1	27,2	57,7	68,4	22,1	79,4	90,4	3,7	92,2	99,3	0	99,3	8,1	4,4	10,3

Die Pausen zwischen den Versuchen der Tabelle I und II (sowie der folgenden III und IV) betrugen 2 Minuten; die Versuche der beiden ersten Tabellen sind mit sehr reinem Wasser gemacht, welches ich erhielt, indem ich weit von den Wohnungen entfernt

Schnee sammelte und schmolz. — Die in Tabelle III dargestellten Versuche sind mit Brunnenwasser bei verschiedener Temperatur der Salzlösungen gemacht. Das Wasser war sehr kalkreich; über den Einfluss der Verunreinigungen des Wassers überhaupt werde ich unten sprechen und will hier nur bemerken, dass hierdurch, sowie durch allzuhohe und allzuniedere Temperatur die Aufgabe des Beobachters erschwert wird und die betreffenden Versuche deshalb voraussichtlich mit mehr Fehlern behaftet sind, als die unter den günstigsten Verhältnissen angestellten.

Tabelle III*

(unwissentlich, gemischt, 30ccm in Mund genommen).

Verhältniss der Concentration	2	3	4	6	8	Wass.	Wass.	Temperatur	n für Beobacht. u. Concentrat.
	r'	r'	r'	r'	r'	r'	r'		
Beobachter I	23	45	68	80	94	2	1	5° C.	50
Beobachter II	14	41	80	93	95	0	5		
Beobachter I	36	45	71	97	100	0	0	10°	50
Beobachter II	21	48	88	94	100	0	0		
Beobachter I	12	41	63	96	97	0	7	35°	50
Beobachter II	7	68	92	98	98	3	1		
Beobachter I	13	34	60	86	89	2	7	50°	50
Beobachter II	11	50	78	99	100	0	0		
Beobachter I	16	27	33	56	86	3	6	60°	50
Beobachter II	6	24	28	72	99	1	0		

Zeit der Versuche: Februar 1868 bis März 1869.

Genau wie die Versuche der Tabelle I wurden Versuche mit einem bitteren Stoff, nämlich mit schwefelsaurem Chinin, angestellt; nur war dasselbe nicht in Schneewasser, sondern in demselben Brunnenwasser, welches bei den Temperaturversuchen zur Ver-

wendung kam, aufgelöst. Ich habe bemerkt, dass sich diese Chininlösungen zersetzen, wenn sie einige Tage lang aufbewahrt werden; gerade noch bitter schmeckende Lösungen verloren nämlich dabei den bitteren Geschmack. Ich habe nun allerdings meine Lösungen vor den Versuchen immer frisch bereitet; die Zeit zwischen Bereitung und Gebrauch war aber doch nicht immer genau gleich gross und diese Ursache, wie ein Theil der bei den Temperaturversuchen angeführten, können auf die Chininversuche störend eingewirkt haben.

1 ccm Chininlösung enthielt Chinin in Milligramm:

0,00297	0,00247	0,00197	0,00147	0,00098
3	2,5	2	1,5	1

Die Zahlen der zweiten Horizontalreihe (3; 2,5 etc.) sind die Verhältnisszahlen der Concentrationen; bezeichnet man wie bei den Kochsalzlösungen diejenige Concentration mit 1, welche in 1 ccm Lösung 0,159 mg des Geschmackstoffes enthält, so erhält man folgende Verhältnisse der Concentrationen des Chinins:

0,0187 0,0155 0,0124 0,0093 0,0062.

Tabelle IV. Chininversuche

(unwissentlich, gemischt, 30 ccm in Mund genommen).

Verhältniss der Concentration	1			1,5			2			2,5			3			Wasser			Wasser			Zeit	n für Beobachter u. Concentration
	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'	r	u	r'		
Beobachter I	14	40	34	44	26	57	72	16	80	92	6	95	84	4	86	8	8	12	2	16	10	Juni u. Juli 1869 Vorm. 10—12 Uhr	50
Beobachter II	16	30	31	66	18	75	76	16	84	86	12	92	96	4	98	0	0	0	0	2	1		
Beobachter I	26	28	40	44	34	61	52	32	68	78	12	84	78	8	82	10	8	14	12	6	15	wie oben Abends 8—10 Uhr	50
Beobachter II	12	14	19	40	30	55	62	26	75	76	12	82	84	12	90	4	0	4	2	2	3		

Die neuen Versuche mit Kochsalz wurden im Frühjahr 1883 mit den Beobachtern I, II, III und IV begonnen. Ich benützte dazu Donauwasser, welches natürlich nur geschöpft wurde, wenn

der Fluss ganz klar war, was zu Riedlingen, das ganz am Oberlauf gelegen ist, sehr häufig der Fall ist; ich wollte reineres und salzärmeres Wasser benützen, als die Brunnen liefern. Das Donauwasser hat aber doch einen eigenthümlich, moderigen „Geschmack" oder vielmehr Geruch, welcher den Ausfall der Versuche beeinträchtigt. Deshalb benützte ich später destillirtes Wasser aus einer Apotheke, welches aber etwas nach der Destillirblase roch, worauf ich mich schliesslich doch wieder dem Brunnenwasser zuwandte. Dies zuletzt benützte Brunnenwasser entstammt, wie das 1868 und 1869 benützte, dem weissen Jura, daher die Beschaffenheit hier wie dort ziemlich gleich sein wird. Die neuen Versuche sind nach denjenigen Grundsätzen angestellt, welche sich schliesslich bei den Tastversuchen am besten bewährt hatten, nämlich sowohl wissentlich als unwissentlich, gemischt wie ungemischt und die Pause zwischen zwei Versuchen betrug 5 Minuten; nur bei den neuen Versuchen mit Brunnenwasser machte ich nur 2,5 Minuten Pause, aber wie sich unten zeigen wird, nicht ohne Beeinträchtigung des Resultates. Obwohl somit Contrastwirkung nicht wahrscheinlich war, wurde doch auch die Aufeinanderfolge der Salzlösungen sorgfältig geregelt, was ich (der Kürze halber nur bei den Brunnenwasserversuchen) des Näheren nachweisen werde.

Tabelle V. Donauwasser.

(10[ccm] in Mund genommen).

Wissentliches Verfahren

Verhältniss der Concentration	0,223		0,667		2		6		Wass.		Zeit der Versuche	n für jede Concentration
	r	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*		
ungemischt Mittel der 4 Beobachter	0,83	11,67	5,42	23,33	20,00	26,67	87,92	9,58	0	10,0	7. Juni bis 11. Juli 1883	240
gemischt Mittel der 4 Beobachter	0,42	12,50	0,42	33,33	20,00	54,17	96,67	3,33	0	7,50	14. Juli bis 20. August 1883	240

Unwissentliches Verfahren.

Verhältniss der Concentration	0,223		0,667		2		6		Wasser		Zeit der Versuche	*n* für jede Concentration
	r	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*	*r*	*u*		
ungemischt Mittel der 4 Beobachter	2,08	20,00	4,17	17,08	22,92	29,58	88,33	7,08	1,82	6,25	7. Juni bis 11. Juli 1883	240
gemischt Mittel der 4 Beobachter	0,42	20,83	2,08	29,58	14,58	47,08	96,25	2,92	0,83	10,83	14. Juli bis 20. August 1883	240

Zur Vermeidung jeden Missverständnisses will ich noch besonders hervorheben, dass z. B. bei wissentlichem und ungemischtem Verfahren jeder Beobachter für die Concentration $n = 60$ hatte, alle vier zusammen daher $= 240$.

Zur späteren Verwendung ist es zweckmässig, aus Tabelle V die Mittelwerthe des ungemischten und gemischten Verfahrens zu berechnen und enthält die folgende Tabelle die mittleren r'.

Wissentliches Verfahren. Unwissentl. Verfahren.

Verhältniss der Concentration	0,223	0,667	2	6	Wass.	0,223	0,667	2	6	Wass.	*n* für jede Concentration
Mittel aller 4 Beob. u. von ungemischt u. gemischt	6,66	17,08	40,20	95,52	4,35	11,46	14,79	37,91	94,79	5,09	480

Tabelle VI. Versuche mit destillirtem Wasser.

(wissentlich, ungemischt, 10ccm in Mund genommen.)

Verhältniss d. Concentration	0,223			0,667			2			6			Wasser			Zeit der Versuche	*n* für jede Concentrat.
	r	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*		
Mittel der 4 Beobachter	2,5	13,3	9,15	12,1	27,9	26,05	43,7	34,6	61,0	83,3	14,6	90,6	0	3,3	1,65	9. Jan. bis 11. März 1884	240

Bei den folgenden Versuchen mit Brunnenwasser wurde gemischt, wissentlich und unwissentlich verfahren und an jedem Versuchstag neun verschiedene Salzlösungen und Brunnenwasser verabreicht. Um den Einfluss des Contrastes zu eliminiren, wurden die neun Lösungen und das Vexirwasser in sechs verschiedenen Ordnungen dargereicht und wurde es z. B. beim wissentlichen Verfahren so gehalten: Eine der Ordnungen (= 10 Einzelversuche mit Pausen von 2,5 Minuten zwischen denselben) wurde durchgemacht, was ca. 1/2 Stunde dauerte, sodann wurde 5 Minuten pausirt und dieselbe Ordnung in umgekehrter Richtung durchgemacht, so dass also etwa eine Stunde lang ohne grössere Unterbrechung experimentirt wurde; diese Stunde aber wurde neben den Geschmacksversuchen mit Lernen und Abhören von Vokabeln einer modernen Sprache ausgefüllt.

War nun so das wissentliche Verfahren eine Vormittagsstunde hindurch ausgeübt worden, so wurde am Abend (wo möglich desselben Tages) das unwissentliche Verfahren mit derselben Ordnung der Lösungen und ganz in derselben Weise eingehalten, beide Verfahren aber kamen im Ganzen ebenso oft morgens als abends zur Verwendung. Die Ordnungen der Salzlösungen waren folgende:

1. Ordnung	6	3	1,5	0,5	0,125	4	2	1	0,25	Wass.
2. Ordnung	1,0	0,125	4	1,5	0,25	6	2	0,5	Wass.	3
3. Ordnung	3	2	1,5	1	0,5	0,25	0,125	Wass.	6	4
4. Ordnung	2	1	0,25	Wass.	3	1,5	4	0,5	6	0,125
5. Ordnung	1,5	0,125	3	0,5	6	1	Wass.	2	0,25	4
6. Ordnung	0,25	0,125	Wass.	6	4	3	2	1,5	1	0,5

Tabelle VII. Versuche mit Brunnenwasser (gemischt, 10 ccm in Mund genommen.)

Verhältniss der Concentration		0,125		0,25		0,5		1		1,5		2		3		4		6		Wasser		n für Concentration u. Beobachter	
		r	u	r	u	r	u	r	u	r	u	r	u	r	u	r	u	r	u	r	u		
Wissentlich	Beobachter I	0	4	0	12	0	36	4	60	20	72	48	48	68	32	84	16	96	4	0	0	25	1. Hälfte der Versuche mit 1., 2., 3. Ordnung. 3. April bis 11. Mai 1884
	Beobachter II	0	4	0	0	8	16	16	24	32	24	56	20	68	20	92	8	100	0	0	0		
	Beobachter III	0	4	0	4	0	16	12	28	12	48	24	68	80	16	100	0	100	0	0	4		
	Beobachter IV	0	0	0	12	0	20	12	44	36	28	36	56	84	4	88	8	100	0	0	4		
	Mittel aller Beob.	0	3	0	7	2	22	11	39	25	43	41	48	75	18	91	8	99	1	0	2	100	
Unwissentlich	Beobachter I	0	20	8	32	8	40	4	52	8	64	32	48	44	40	76	16	92	4	0	12	25	
	Beobachter II	0	44	4	8	4	4	20	16	36	36	28	36	48	32	92	8	100	0	4	8		
	Beobachter III	0	8	0	16	0	20	8	24	32	40	36	24	72	12	92	8	100	0	0	8		
	Beobachter IV	8	4	0	28	12	32	24	32	40	44	52	36	72	20	92	8	100	0	8	16		
	Mittel aller Beob.	2	19	3	21	6	24	14	31	29	46	37	36	59	26	88	10	98	1	3	11	100	
Wissentlich	Beobachter I	0	8	0	16	0	56	8	64	4	84	28	68	52	44	80	20	96	4	0	0	25	2. Hälfte der Versuche; mit 4., 5., 6. Ordnung. 21. Mai bis 19. Juni 1884
	Beobachter II	0	4	0	4	4	0	12	20	16	40	48	40	64	28	100	0	100	0	0	0		
	Beobachter III	0	0	4	4	0	8	12	24	20	36	48	48	84	12	96	0	100	0	0	0		
	Beobachter IV	0	0	0	8	4	16	12	52	56	40	92	4	92	8	100	0	100	0	0	4		
	Mittel aller Beob.	0	3	1	8	2	20	11	40	24	50	54	40	73	23	94	5	99	1	0	1	100	
Unwissentlich	Beobachter I	0	20	4	28	0	28	12	32	12	56	28	48	56	44	72	24	88	12	0	8	25	
	Beobachter II	0	4	0	12	4	28	24	20	36	24	72	20	76	16	96	0	100	0	4	4		
	Beobachter III	0	8	4	0	0	12	8	12	28	36	36	44	80	12	88	12	100	0	0	8		
	Beobachter IV	0	12	0	12	0	28	8	44	40	52	76	12	88	12	92	8	100	0	0	8		
	Mittel aller Beob.	0	11	2	13	1	24	13	27	29	42	53	31	75	21	87	11	97	3	1	7	100	

Bei allen bisherigen Versuchen wurde der Geschmackssinn ungefähr in der Weise in Anspruch genommen, wie es im täglichen Leben geschieht, indem nur unterlassen wurde, die zu schmeckende Flüssigkeit auf der Zunge durch Bewegung derselben zu verreiben, was bekanntlich die Leistungsfähigkeit des Sinnes erhöht. Bei den folgenden Versuchen sollte geprüft werden, ob und wie die Geschmacksempfindlichkeit mit der Grösse der schmeckenden Fläche wächst. Hierbei ist aber folgendes zu bemerken: Wie ich in einer der oben erwähnten Abhandlungen (diese Zeitschrift Jahrgang 1870 p. 445 ff.) nachgewiesen habe, schmecken allein die papillae clavatae und circumvallatae, nicht aber die übrigen Stellen der Mundhöhle oder die papillenfreien Stellen der Zunge [1]). Zwei Stellen der Zunge sind also dann äquivalent bezüglich des Geschmacksinns, wenn sie von gleich grossen und gleich zahlreichen Papillen besetzt sind. — Um überhaupt eine bestimmte Stelle der Zunge von genau bekannter Ausdehnung zu prüfen, setzte ich eine Glasröhre rechtwinklig auf die Zungenfläche und goss die zu schmeckende Flüssigkeit in die Röhre. Soll die schmeckende Zungenfläche in einem Fall doppelt so gross sein als im andern, so kann man dies, wenn es sich um grössere Flächen handelt, dadurch erreichen, dass man z. B. auf eine Stelle rechts von der Mittellinie der Zunge die Glasröhre stellt und Salzlösung eingiesst; beim zweiten Versuch stellt man dieselbe Glasröhre auf dieselbe Stelle, dazu aber eine gleich grosse auf die correspondirende Stelle links von der Mittellinie und giesst in beide Glasröhren gleichzeitig die Salzlösung ein. Bei dem symmetrischen Bau der Zunge werden beide Stellen gleichartig mit Papillen besetzt sein. Oder kann man, wenn kleinere Stellen zu prüfen sind, die Zahl der Papillen, welche unter der Glasröhre

1) Diese Entdeckung von mir ist leider wenig beachtet worden, so dass man noch heute in manchen Lehrbüchern die absurde Behauptung findet, es schmecke z. B. der weiche Gaumen oder diese oder jene andere, nicht schmeckende Stelle der Mundhöhle sogar fein. Man kann sich von der Unrichtigkeit solcher Behauptungen leicht überzeugen, indem man einen Krystall von Kochsalz etwas anfeuchtet; auf die Zungenspitze gebracht erregt er lebhafte Geschmacksempfindung, am weichen Gaumen oder z. B. an der papillenfreien unteren Seite tritt gar keine Empfindung ein. Uebrigens verweise ich auf die citirte Abhandlung.

stehen, zählen und bei einem zweiten Versuch doppelt, dreimal so viel Papillen unter die Röhre bringen, als beim ersten.

Ich habe mich in diesen Fällen bemüht, die einzelnen Papillen möglichst gleich gross zu bekommen; genaue Versuche über Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der Grösse der einzelnen Papillen besitze ich aber nicht, doch wären solche leicht anzustellen und verweise ich wegen der einzuschlagenden Technik auf die erwähnte Abhandlung. — In der folgenden Tabelle ist unter Nr. 1 eine Zungenfläche von 0,7 qcm mit der Salzlösung in Berührung gekommen, dieselbe war an der Spitze der Zunge, ebenso oft rechts als links von der Mittellinie. Unter Nr. 2 war die schmeckende Fläche 1,4 qcm gross, indem beide erwähnte Stellen *r* und *l* von der Mittellinie gleichzeitig mit der Salzlösung in Berührung kommen, unter Nr. 3 wurden wie bei den früheren Versuchen, 30 ccm Salzlösung frei in den Mund genommen, die Grösse der schmeckenden Zungenfläche ist also hier unbekannt. Es sind nur die Resultate von Beobachter I angegeben, indem Beobachter II keine unter sich stimmenden Resultate erhalten hat.

Tabelle VIII*
(unwissentlich, gemischt.)

Verhältniss der Concentration	Nr. 1			Nr. 2			Nr. 3			n für Zungenfläche u. Concentration
	r	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*	*r*	*u*	*r'*	
1	28	10	33	16	29	30,5	12	39	31,5	100
2	42	11	47,5	48	19	57,5	60	26	73	
4	54	11	59,5	67	15	74,5	95	4	97	
6	70	3	71,5	83	5	85,5	99	1	99,5	
Wass.	11	4	13	5	10	10	0	8	4	
Zeit d. Versuche	9. Februar bis 1. März 1870			5 bis 17. Februar 1870			12. bis 21. Februar 1870			

Die Salzlösungen, welche mit einzelnen Papillen in Berührung gebracht wurden (Tabelle IX) waren nicht so concentrirt, als man

vielleicht erwartet hätte, denn es enthielt bei der stärksten 1 ccm 2,5 mg Salz, also nur etwa doppelt so viel wie die stärkste Salzlösung, welche z. B. bei den Temperaturversuchen zur Verwendung kam. Vexirversuche wurden hier in doppelter Weise angestellt. 1. Es wurde in die Glasröhre Wasser gegossen, während sie über den geprüften Papillen stand = Vexirversuch I. 2. Es wurde in die Glasröhre eine sehr concentrirte Salzlösung gegossen, während sie auf einer papillenfreien Stelle in der Nähe der benützten Papillen stand = Vexirversuch II. Beobachter V, mit welchem diese Versuche gemacht wurden, hat ungewöhnlich schöne Einzelpapillen.

Tabelle IX*
(unwissentlich, gemischt)

Zeit der Versuche	n	Verhältniss der Concentration	r	u	r'	Anzahl der Papillen innerhalb der Glasröhre
18. und 19. Januar 1870	50	15,72	32	38	51	1
	50	13,21	0	2	1	
	50	Vexirversuch I	0	0	0	
	50	Vexirversuch II	0	0	0	
20. und 21. Januar 1870	wie oben		50	26	63	2
			0	0	0	
			0	0	0	
			0	0	0	
22. und 23. Januar 1870	wie oben		66	18	75	3
			6	14	13	
			0	0	0	
			0	0	0	
24. Januar 1870	wie oben		74	20	84	4
			40	26	53	
			0	0	0	
			0	0	0	

Soweit das Versuchsmaterial. Die folgenden Rechnungen sind, analog wie die zu meinen Tastversuchen, sämmtlich von Prof.

Fechner ausgeführt und zwar nach der Methode der kleinsten Quadrate, soweit dieselbe Verwendung finden musste (die betreffenden Tabellen sind mit Qu. bezeichnet). Ungeachtet ich über die Punkte, auf welche es bei der Rechnung ankam, auf die Abhandlungen Fechner's über die Tastversuche verweisen kann, mag doch hier kurz recapitulirend folgendes bemerkt werden: In der Formel $t = hD + k$, um deren Anwendung und Bewährung es sich hauptsächlich handelt, bedeutet t einen, nach der sog. Fundamentaltabelle von r' abhängigen, mit r' wachsenden, rechnungsweise r' vertretenden Werth; h und k sind Constante, welche charakteristisch und maassgebend für den Grad der vorhandenen Empfindlichkeit sind, indem mit Wachsthum derselben t und demgemäss r' bei gegebenem D wächst; k ist der Werth von t beim Vexirversuch. Die Werthe h und k sind in jeder Beobachtungsreihe aus den Versuchen mit mindestens zwei D nach einer einfacheren, aber minder scharfen Methode (der Summationsmethode) oder der Methode der kleinsten Quadrate ableitbar. Die Formel $t = hD + k$ ist im Folgenden als von Fechner aufgestellt, mit F; die Formel $t = hD - k$, als von Müller aufgestellt mit M bezeichnet; unter r' ist wie schon bemerkt, zu verstehen $r + \frac{u}{2}$, was in den Abhandlungen Fechner's über die Tastversuche als Reductionsweise γ bezeichnet ist, indes daselbst unter Reductionsweise α und β verstanden ist, dass bloss r oder aber $r + u$ zur Ableitung von t nach der Fundamentaltabelle dienen. D bedeutet selbstverständlich bei den Geschmacksversuchen die Verhältnisszahl der Concentration.

Wenn man aus zwei oder mehr Versuchsreihen Mittelwerthe ziehen will, kann dies nach zwei verschiedenen Methoden geschehen. Man kann von den r', welche in den verschiedenen Reihen bei gleichem D beobachtet wurden, die arithmetischen Mittel nehmen und zu diesen mittleren r' die t-Werthe aufsuchen = R-Verfahren. Oder man kann zu jedem einzelnen r' das zugehörige t suchen und von den t, welche zu demselben D gehören, das arithmetische Mittel nehmen = T-Verfahren. Letzteres Verfahren ist principiell allein richtig, aber mühsamer und liefert bei unseren Versuchen

nicht viel andere Werthe als das R-Verfahren. Die Combination mehrerer Versuchsreihen, sei es solcher, welche von verschiedenen Beobachtern herstammen, oder solcher, welche von einem Beobachter in verschiedenen Epochen gemacht sind, bietet den Vortheil, dass sich die Zufälligkeiten, mit welchen die Versuche behaftet sind, besser ausgleichen. Eine passende Formel wird also mit einer Combination mehrerer Versuchsreihen um so besser stimmen, eine unpassende um so schlechter.

Noch ist Folgendes zu bemerken: nach der allgemeinen Formel $t = hD + k$ ist für $D = 0$; $t = k$. $t = 0{,}4769$ entspricht aber nach der Fundamentaltabelle einem $r' = 0$. Es kommt nun nicht selten vor, dass aus einer Reihe mit mehreren D ein k kleiner als 0,4769 erhalten wird; das t, welches in diesem Fall zu $D = 0$ gehört, fällt also unter 0,4769 und das zugehörige r' unter Null, es wird negativ, hiermit imaginär und fällt unter die Schwelle um so tiefer, je tiefer k unter 0,4769 sinkt. Demnach wird auch Folgendes klar sein: wenn man bei den Versuchen mit irgend einem D weder einen richtigen noch einen unentschiedenen Fall erhält, so lässt sich daraus nicht schliessen, dass diesem $r' = 0$ auch ein $t = 0{,}4769$ entspräche. Denn alle negativen oder imaginären Werthe von r' können nicht beobachtet werden; r' kann (wenn weder ein r noch ein u erzielt wurde) beliebig tief unter der Schwelle oder negativ gewesen sein und ihm ein beliebiger Werth von $t < 0{,}4769$ entsprechen, t ist also in diesem Falle nicht $= 0{,}4769$ sondern unbekannt.

Nach diesen Vorbemerkungen gehe ich nunmehr an die Mittheilung der Rechnungsresultate. Um zu sehen, ob sich die Formel $t = hD + k$ (oder irgend eine andere) bewährt, kann man zwei verschiedene Wege einschlagen.

Erstes Verfahren der successiven Constanten. In Tabelle I ist ausser $D = 0$, welches vorläufig nicht berücksichtigt wird, $D = 1$; 2; 3; 4; 6 zur Verwendung gekommen. Nun kann man die Constanten h und k auf einfache Weise berechnen, indem für das D in der allgemeinen Gleichung ($t = hD + k$) die Specialwerthe 1 und 2 einsetzt und für t die zu den beobachteten Werthen von

r' gehörigen Werthe t' und t''; man erhält so die Gleichungen: $t' = h \cdot 1 \cdot + k$ und $t'' = h \cdot 2 + k$. Diese Berechnung der Constanten aus den Beobachtungen mit $D = 1$ und $D = 2$ wird im Folgenden mit ${}^1\int_2$ bezeichnet; demnach kann man die Constanten auch berechnen aus ${}^2\int_3$; ${}^3\int_4$; ${}^4\int_6$ oder wenn die t eines Paares nicht genügend von einander abweichen, auch aus ${}^1\int_3$; ${}^2\int_4$; ${}^4\int_6$; und man erhält im ersten Fall vier, im zweiten drei Bestimmungen von h und k.

Wenn die Formel sich bewährt, müssen die verschiedenen Werthe von h und k (bis auf unausgeglichene Zufälligkeiten) übereinstimmen, oder da solche Zufälligkeiten nie fehlen, werden die successiven Constanten nur zufällige, d. h. unbestimmt wechselnde Unterschiede zeigen dürfen, wogegen ein continuirliches Steigen oder Fallen gegen die Gültigkeit der betreffenden Formel sprechen wird.

Zweites Verfahren. Tabelle I mit ihren fünf D gibt wie bemerkt fünf Specialgleichungen, aus welchen (am genauesten nach Qu.) das für die ganze Reihe geltende h und k berechnet werden kann. Setzt man die gefundenen Werthe für die Constanten in die allgemeine Gleichung ein und für D successive 1; 2; etc., so kann man nunmehr fünf Werthe von t berechnen und dazu in der Fundamentaltabelle die zugehörigen r' suchen und als berechnete r' mit den beobachteten r' vergleichen. Die Abweichungen zwischen beiden heissen E; sind sie nur durch unausgeglichene Zufälligkeiten herbeigeführt, so werden sie unregelmässig zwischen positiv und negativ schwanken und je kleiner ihre Quadratensumme ($\Sigma\varepsilon^2$) ist, vergleichbare Versuchsverhältnisse vorausgesetzt, desto besser hat sich z. B. von zwei geprüften Formeln die eine bewährt, oder die eine von zwei verschiedenen Anordnungen der Versuche.

Die erste Art der Berechnung hat vor der zweiten voraus, dass sie auch ungeübten Rechnern zugänglich ist und dass sie, wenn etwa bei einem D schlecht beobachtet worden ist, diesen Punkt erkennen lässt, während beim zweiten Verfahren durch schlechte Beobachtung bei einem D ein grosser Beitrag zu $\Sigma\varepsilon^2$ geliefert wird und die ganze Reihe schlecht erscheint.

In den folgenden Tabellen, welche nach dem ersten Verfahren berechnet sind, brauchen nur die Werthe h angegeben zu werden, da mit der Constanz oder nicht Constanz derselben auch die der k zusammenhängt, indem k allgemein steigt, wenn h sinkt und umgekehrt.

1. Aeltere Versuche nach $FU\gamma$ berechnet.

Successive h.

aus D	zu Tab. I	zu Tab. II	zu Tab. III	aus D	Zu Tab. IV	aus D	zu Tabelle VIII Nr. 1	zu Tabelle VIII Nr. 2	zu Tabelle VIII Nr. 3
$^{1}\int_{2}$	0,283	0,256	—	$^{1}\int_{2}$	0,450	$^{1}\int_{2}$	0,111	0,217	0,386
$^{2}\int_{3}$	0,360	0,306	0,185	$^{1,5}\int_{2.5}$	0,434	$^{2}\int_{4}$	0,055	0,0981	0,332
$^{3}\int_{4}$	0,287	0,271	0,274	$^{2}\int_{3}$	0,309	$^{4}\int_{6}$	0,068	0,0961	0,209
$^{4}\int_{6}$	0,262	0,326	0,212	—	—	—	—	—	—
$^{6}\int_{8}$	—	—	0,156	—	—	—	—	—	—

Die Resultate der Beobachter I und II und die bei verschiedenen Temperaturen erhaltenen (Tabelle III) sind nach dem T-Verfahren combinirt.

Die h der Tabellen I, II, III wechseln offenbar zufällig; nimmt man von den h, welche in den drei Reihen für dieselben Paare von D erhalten wurden, die arithmetischen Mittel, um die allerdings starken Zufälligkeiten, mit denen sie behaftet sind, auszugleichen, so erhält man sehr nahestimmend:

	h
$^{2}\int_{3}$	0,284
$^{3}\int_{4}$	0,277
$^{4}\int_{6}$	0,267

Bei Tabelle IV stimmen die beiden untersten, bei Tabelle VIII Nr. 1 und Nr. 2 stimmen die beiden obersten h gut; die Nichtübereinstimmung des dritten h bei Tabelle IV erklärt sich dadurch, dass Beobachter I zwischen den zwei grössten D die Verkehrtheit zeigt, dass einem grösseren D ein kleineres r' entspricht und eine ähnliche Verkehrtheit findet sich bei $D = 1$ in Tabelle VIII Nr. 1

und Nr. 2. Eine Zusammenstimmung aller drei auf einanderfolgenden h ist ohnedem wegen des Spiels der Zufälligkeiten unwahrscheinlich, so dass die nahe Zusammenstimmung von zwei Werthen günstig erscheinen muss. Nur Tabelle VIII Nr. 3 bleibt ziemlich ungünstig.

Damit stimmt folgendes: z. B. bei Tabelle VIII Nr. 2 erhält man unter Zuziehung aller vier D für h und k folgende Werthe (nach Qu.): $h = 0{,}1267$ und $k = 0{,}5658$ was folgende schlecht stimmende Vergleichungstabelle zwischen beobachteten und berechneten r' gibt:

D	r'		E
	beobacht.	berechnet	
1	30,5	34,50	+ 4,00
2	57,5	50,62	— 6,88
4	74,5	74,13	— 0,37
6	85,5	87,84	+ 1,66
			$\Sigma\varepsilon^2 = 66{,}32$

Berechnet man aber h und k nur aus den drei Werthen $D = 2$; 4; 6, so erhält man $h = 0{,}0972$ und $k = 0{,}6879$ und folgende trefflich stimmende Vergleichungstafel:

D	r'		E
	beobacht.	berechnet	
2	57,5	57,54	+ 0,04
4	74,5	74,41	— 0,09
6	85,5	85,54	+ 0,04
			$\Sigma\varepsilon^2 = 0{,}011$

Aehnliches würde man bei den übrigen Versuchsreihen erhalten.

Zur Prüfung der Müller'schen Formel $t = hD - k$ sind folgende Rechnungen angestellt (nach $M U \gamma$):

Successive *h*.

aus D	zu Tab. I	zu Tab. II	aus D	zu Tab. VIII Nr. 2
${}^1\int_2$	0,967	0,838	${}^1\int_2$	0,494
${}^2\int_3$	0,612	0,559	${}^2\int_4$	0,332
${}^3\int_4$	0,398	0,386	${}^4\int_6$	0,282
${}^4\int_6$	0,310	0,403		

Es zeigt sich eine entschiedene Abnahme der h bei wachsenden D.

Es wird aufgefallen sein, dass bisher die bei $D = 0$, dem Vexirversuch, erhaltenen r' zur Berechnung der successiven h nicht benützt worden sind. Es fügt sich nämlich der Vexirversuch bei diesen älteren Versuchen so wenig als bei den analogen Tastversuchen der Formel, was aber evidenter Weise ein Fehler dieser älteren Versuche ist, denn die neuen Geschmacksversuche, welche ohne Contrastwirkung und sowohl wissentlich als unwissentlich angestellt sind, zeigen diesen Uebelstand so wenig als die neuen Tastversuche.

Zwar die neuen Versuche mit Brunnenwasser (Tabelle VII), bei welchen die Pause zwischen zwei Versuchen nur 2,5 Minuten betrug, zeigen bei den Vexirversuchen zwischen Beobachtung und Rechnung noch keine gute Zusammenstimmung. Auch leiden sie an dem Uebelstand, dass für $D = 0$ bei W, zwei Beobachter fehlende, d. h. unbekannt negative r' haben; für $D = 0$ und $D = 0{,}125$ bei U aber findet die Verkehrtheit statt, dass $D = 0$ ein grösseres r' geliefert hat, als $D = 0{,}125$. Es wurde also hier die Berechnung der successiven Constanten erst bei $D = 0{,}25$ begonnen. Dagegen hindert bei den Versuchen mit Donau- und destillirtem Wasser (Tabelle V und VI) nichts, mit $D = 0$ zu beginnen. Bei Berechnung der Constanten zu Tabelle V und VI

wurden, bequemerer Rechnung halber, statt der Verhältnisszahlen 0,223; 0,667; 2; 6 die einfacheren 1; 3; 9; 27 eingesetzt. Die *k*-Werthe werden hierdurch nicht verändert, die unten angegebenen *h*-Werthe müssen mit $\frac{1}{0,223} = 4,5$ multiplicirt werden, damit sie denjenigen gleichkommen, welche bei Anwendung der Verhältnisszahlen 0,223 etc. erhalten worden wären. Die *h* der Tabelle V und VI sind mit sehr starken zufälligen Abweichungen behaftet, welche sich aber ausgleichen, wenn man die Resultate beider Tabellen combinirt, was bei *W* nach *T*-Verfahren geschehen ist und in folgender Tabelle mit Combin. bezeichnet wurde.

2. neuere Versuche.

Successive *h* zu Tabelle V und VI.

	$FW\gamma$			$FU\gamma$	$MW\gamma$			$MU\gamma$
aus *D*	DonauW.	Dest. W.	Combin.	Donau W.	DonauW.	Dest. W.	Combin.	DonauW.
${}^{0}\int_{3}$	0,0251	0,0494	0,0372	0,0201	0,173	0,351	0,260	0,151
${}^{1}\int_{9}$	0,0275	0,0490	0,0379	0,0184	0,111	0,142	0,127	0,061
${}^{3}\int_{27}$	0,0432	0,0320	0,0377	0,0438	0,043	0,058	0,068	0,078

Successive *h* zu Tabelle VII.

aus *D*	$FW\gamma$	$FU\gamma$	$F\gamma$ Combin. *WU*	$MW\gamma$	$MU\gamma$	$M\gamma$ Combin. *WU*
${}^{0,25}\int_{1}$	0,222	0,143	0,183	1,149	0,601	0,818
${}^{0,5}\int_{1,5}$	0,244	0,255	0,249	0,765	0,700	0,748
${}^{1}\int_{2}$	0,346	0,277	0,309	0,716	0,624	0,689
${}^{1,5}\int_{3}$	0,297	0,213	0,254	0,500	0,360	0,430
${}^{2}\int_{4}$	0,309	0,280	0,290	0,429	0,410	0,412
${}^{4}\int_{6}$	0,299	0,250	0,265	0,370	0,323	0,337

Bei der letzten Tabelle ist für F anzuerkennen, dass h erst von ${}^1\mathfrak{f}_2$ an unregelmässig schwankt, bis dahin ansteigt, was ich dem Umstande zuschreibe, dass die Pausen zwischen zwei Versuchen zu kurz waren; bei M nehmen die h mit wachsenden D entschieden ab.

Von den zahlreichen Rechnungen, welche nach der zweiten Methode angestellt wurden, will ich des Raumes halber nur einzelne Beispiele bringen, zumal da schon aus dem bisher Mitgetheilten hervorgeht, dass für diese Versuche die Fechner'sche Formel, nicht aber die Müller'sche passt. Wie oben sind bei den älteren Versuchen zur Berechnung der Constanten h und k die $D = 0$ nicht beigezogen, es wird sich ergeben, dass beobachtetes und berechnetes r' für $D = 0$ durchaus nicht stimmt; würde man $D = 0$ zur Berechnung der Constanten beiziehen, so wäre dies ebensowenig der Fall und es würde alsdann die Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten r' auch bei den übrigen D ungenügend. Folgende Tabelle enthält die Mittel beider Beobachter und von Morgen- und Abendversuchen nach T combinirt.

$FU\gamma$ nach Qu.

	zu Tabelle I					zu Tabelle II		
	t		r'			r'		
D	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.	E	beobacht.	berechn.	E
1	0,5274	0,5228	8,42	8,03	— 0,39	10,10	9,50	— 0,60
2	0,8101	0,8289	49,61	51,78	+ 2,17	47,29	48,87	+ 1,58
3	1,1701	1,1346	80,40	78,28	— 2,12	75,82	74,39	— 1,43
4	1,4567	1,4406	92,12	91,78	— 0,34	89,36	88,69	— 0,67
6	1,9797	2,0542	98,98	99,26	+ 0,28	99,14	98,52	— 0,62
Vexirvers.	0,5023	0,2169	4,52	— 40,53	$\Sigma\varepsilon^2 = 9,55$	7,51	— 34,83	$\Sigma\varepsilon^2 = 5,73$
	$h = 0,3059$		$k = 0,2169$				$h=0,2724$	$k=0,2590$

Da n in Tabelle I und II sich verhält $= 100 : 136$, war zu erwarten, dass die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und

Rechnung bei Tabelle II besser sein werde als bei Tabelle I, was in der That der Fall ist; übrigens ist die Uebereinstimmung beider Tabellen sehr befriedigend. Tabelle II wurde auch dazu benützt, die Mittel nach der einfacheren R-Methode zu berechnen; die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung war hier etwas geringer, als bei der T-Methode, aber immer noch ganz befriedigend. Ferner wurde Reductionsweise α und β geprüft, α ergab sehr schlechte Uebereinstimmung, β leidliche, aber doch nicht so gute wie γ. Die speciellen Rechnungsbelege theile ich der Kürze halber nicht mit, dagegen folgt die Rechnung nach Müller's Formel, nach T combinirt.

$MU\gamma$ Qu. zu Tabelle II.

D	t beobachtet	t berechnet	r' beobachtet	r' berechnet	E
1	— 0,9035	— 0,6288	10,20	18,70	+ 8,50
2	— 0,0652	— 0,0995	46,33	44,40	— 1,93
3	+ 0,4937	+ 0,4298	75,75	72,80	— 2,95
4	+ 0,8792	+ 0,9591	89,31	91,32	+ 2,01
6	+ 1,6849	+ 2,0177	99,14	99,80	+ 0,66
Vexirvers	— 1,0660	— 1,1581	6,59	5,09	$\Sigma\varepsilon^2 = 89{,}07$
	$h = 0{,}5293$		$k = 1{,}1581$		

$\Sigma\varepsilon^2$ ist hier sehr viel grösser als nach F.

Qu. $FU\gamma$ zu Tabelle III.

h und k für Beobachter I und II bei verschiedener Temperatur					Beobachter I u. II u. sämmtl. Temperaturen nach T combinirt				
Temperatur	I		II		r'				
	h	k	h	k	D	beob.	berechn.	E	
5°	0,1469	0,3323	0,2225	0,1084	2	16,19	13,90	— 2,29	$\Sigma\varepsilon^2 = 25{,}81$
10°	0,1332	0,4230	0,2499	0,0901	3	43,09	47,30	+ 4,21	$h = 0{,}2332$
35°	0,2023	0,1382	0,4076	— 0,2864	4	71,02	70,25	— 0,77	$k = 0{,}0910$
50°	0,1755	0,1766	0,2838	— 0,0285	6	92,08	92,74	+ 0,66	
60°	0,0873	0,3817	0,1101	0,2750	8	97,52	98,87	+ 1,35	
					Vexirvers.	?	— 55,52		

Der Gang der h und k wird bei beiden Beobachtern von der Temperatur gleichmässig beeinflusst, h hat sein Maximum, k sein Minimum etwa bei Blutwärme.

Qu. $FU\gamma$ zu Tabelle IV. Die Mittel beider Beobachter und für Morgen- und Abendversuche nach T combinirt.

D	r' beobachtet	r' berechnet	E	
1	31,26	33,02	+ 1,76	$\Sigma\varepsilon^2 = 26,58$
1,5	62,69	59,49	− 3,20	$h = 0,4377$
2	77,34	77,35	+ 0,05	$k = 0,2445$
2,5	89,41	88,04	− 1,37	
3	91,11	94,48	+ 3,33	
Vexirvers.	7,36	− 36,84		

Wären für die Chininlösung die analogen Verhältnisszahlen angewandt worden wie für Kochsalzlösung, so wären k und die berechneten r' unverändert geblieben; D wäre mit 161,3 dividirt worden und h wäre 161,3 mal grösser, daher $h = 70,6010$.

Bei folgender Berechnung ist $D = 0$ zur Bestimmung von h und k beigezogen worden.

	Zu Tabelle V (Donauwasser) Qu.						Zu Tabelle VI (destill. Wasser)			Combinat. von Tab. V u VI (nach T)		
	$FW\gamma$			$FU\gamma$			$FW\gamma$ Qu.			$FW\gamma$ Qu.		
	r'			r'			r'			r'		
D	beobachtet	berechn.	E	beobachtet	berechn.	E	beobachtet	berechn.	E	beobachtet	berechn.	E
0	4,35	2,50	− 1,85	4,65	3,68	+ 1,03	1,65	3,49	+ 1,84	2,99	2,36	− 0,63
1	6,65	7,52	+ 0,87	15,90	10,00	− 5,90	9,15	10,55	+ 1,40	7,90	8,94	+ 1,04
3	17,05	17,64	+ 0,59	14,85	18,28	+ 3,43	26,05	23,77	− 2,28	21,62	21,37	− 0,25
9	40,20	42,21	+ 2,01	37,85	40,27	+ 2,42	61,00	55,74	− 5,26	51,38	51,96	+ 0,58
27	95,50	85,40	− 10,10	94,70	81,34	− 13,36	90,60	95,30	+ 4,70	93,[illegible]4	93,48	+ 0,04
	$h = 0,0288$ $k = 0,4909$		$\Sigma\varepsilon^2 = 110,58$	$h = 0,0251$ $k = 0,5091$		$\Sigma\varepsilon^2 = 233,05$	$h = 0.0408$ $k = 0,4975$		$\Sigma\varepsilon^2 = 60,79$	$h = 0.0378$ $k = 0,4901$		$\Sigma\varepsilon^2 = 1,88$

Wenn dieselben Verhältnisszahlen der Kochsalzlösungen angewendet werden wie bei den übrigen Tabellen, bleibt *k* unverändert, *h* muss mit 4,5 multiplicirt werden, wird daher = 0,1296; = 0,0967; = 0,1836; = 0,1701.

Tabelle VII hat wieder zu zahlreichen Berechnungen Veranlassung gegeben, indem an derselben die Reductionsweisen α, β, γ, sowie die Combination nach *R*- und *T*-Verfahren geprüft wurden. Ich theile diese Rechnungen aber nicht mit, sie haben lediglich das oben Gesagte bestätigt. Ferner hat die angestellte Untersuchung ergeben, dass *W* vor *U* keinen entschiedenen Vorzug hat, derselbe vielmehr zwischen beiden gleichmässig schwankt, was aus folgender Tabelle ersichtlich ist.

In derselben sind die Resultate aller vier Beobachter und beider Versuchsabtheilungen der Tabelle VII nach *R* combinirt; auch wurde eine Combination der nach *W* und nach *U* erhaltenen Resultate versucht und ist mit *WU* bezeichnet; es ist dies zulässig, da *W* vor *U* keinen entschiedenen Vorzug hat und es hat die Combination zu einer besseren Ausgleichung der Zufälligkeiten in der That geführt.

Zu Tabelle VII. Qu. Uebersicht der Werthe *h*, *k* und $\Sigma\varepsilon^2$.

	h	*k*	$\Sigma\varepsilon^2$	Zur Berechnung zugezogene *D*
$FU\gamma$	0,238	0,468	124,2	10 von $D = 0$ an
$FW\gamma$	0,260	0,432	81,5	9 von $D = 0{,}125$ an
$FU\gamma$	0,224	0,469	78,6	
$FWU\gamma$	0,258	0,441	77,0	
$FW\gamma$	0,270	0,417	61,9	8 von $D = 0{,}25$ an
$FU\gamma$	0,229	0,460	67,5	
$FW\gamma$	0,289	0,390	38,7	7 von $D = 0{,}50$ an
$FU\gamma$	0,244	0,431	37,1	
$FW\gamma$	0,308	0,354	22,6	6 von $D = 1{,}00$ an
$FU\gamma$	0,260	0,401	24,0	
$FWU\gamma$	0,283	0,379	9,3	
$FW\gamma$	0,320	0,328	20,8	5 von $D = 1{,}5$ an
$FU\gamma$	0,232	0,468	9,1	

Die $\Sigma\varepsilon^2$ dieser Tabelle gewähren einen Maassstab für das Zusammenstimmen von Beobachtung und Rechnung nur insoweit, als sie aus derselben Anzahl D gewonnen sind. Division mit der Anzahl der jeweils zugezogenen D würde übrigens nicht genügen, um die $\Sigma\varepsilon^2$ zu einem sicheren Maassstab zu machen. Man bemerkt, dass von der Rubrik $D = 0$ bis zur Rubrik $D = 1,00$ die h fortwährend wachsen, die k fortwährend abnehmen. — Es hat ein gewisses Interesse, die durch die Versuche der Tabelle VII erhaltenen h und k für die Beobachter I und II mit denjenigen zu vergleichen, welche für dieselben Beobachter vor 16 Jahren erhalten wurden. Die Berechnung aus Tabelle VII erfolgte von $D = 1,00$ an. Combination nach T.

h	k
0,2724	0,2590 nach Tab. II
0,2332	0,0910 nach Tab. III
0,2362	0,4371 nach Tab. VII

Die älteren und neueren Versuche sind allerdings nicht unter ganz vergleichbaren Umständen angestellt; die h differiren mässig, die k sehr stark.

Vergleich zwischen beobachteten und berechneten r' zu Tabelle VII Qu.

	$FU\gamma$					$FW\gamma$				
	von $D = 0$ an			von D=1,00 an		von $D = 0,125$ an			von $D = 1$ an	
	r' beob.	r' berech.	E	r' berech.	E	r' beob.	r' berech.	E	r' berech.	E
0	6,5	1,52	− 4,98			?	(−7,89)	?		
0,125	6	6,19	+ 0,09			1,5	− 2,19	− 3,69		
0,25	11	10,75	− 0,25			4	3,59	− 0,41		
0,50	15,5	19,48	+ 3,98			12,75	14,64	+ 1,89		
1	28	35,31	+ 7,31	30,03	+ 2,03	30,75	34,42	+ 3,67	30,09	− 0,66
1,5	51	48,98	− 2,02	47,38	− 3,62	47,75	50,94	+ 3,19	50,24	+ 2,49
2	61,75	60,48	− 1,27	61,51	− 0,24	69,50	64,30	+ 5,20	65,91	− 3,59
3	78,75	76,85	− 1,90	81,09	+ 2,34	84,25	82,64	− 1,61	85,81	+ 1,56
4	92,75	88,26	− 4,49	91,75	− 1,02	95,75	92,49	− 3,26	95,00	− 0,75
6	98,50	97,66	− 0,84	98,90	+ 0,40	99,50	99,02	− 0,48	99,14	− 0,36

Der eingeklammerte Werth in der Tabelle ist erhalten, indem zu k, unter Zuziehung der $9\ D$ von 0,125 bis 6 berechnet, das zugehörige r' aus der Fundamentaltabelle gesucht wurde.

Der Wechsel der Vorzeichen bei den E von $D = 1{,}00$ an lehrt, dass es sich hier nur um unausgeglichene Zufälligkeiten handelt, was bei den E von $D = 0$ an und $D = 0{,}125$ an evidenter Weise nicht gilt. Immerhin kann man auch hier den Vergleich zwischen Beobachtung und Rechnung verhältnissmässig befriedigend finden.

Bisher ist die Abhängigkeit der Geschmacksempfindlichkeit bloss von der Concentration, dem D der Versuchsflüssigkeiten, untersucht und die Anwendbarkeit der Formel $t = hD + k$ darauf gezeigt worden. Es dienen aber die Resultate der Tabellen VIII und IX auch dazu, eine Abhängigkeit der Geschmacksempfindung von der Ausdehnung der schmeckenden Fläche nachzuweisen, entsprechend der von der Concentration der Flüssigkeiten. Hierzu wurde die Formel $t = h \cdot P + k$ versucht; wobei unter P eine im Zusammenhange schmeckende Oberflächengrösse (Tabelle VIII) oder die Zahl der schmeckenden Papillen (Tabelle IX) verstanden wird. Die Constanten h und k in beiden Formeln sind selbstverständlich verschieden und nicht von der einen in die andere übertragbar und werden daher im Folgenden mit h_d und h_p, sowie mit k_d und k_p bezeichnet.

Da in Tabelle VIII nur $P = 1$ und $P = 2$ vorkommt, so stehen zur Berechnung der Constanten auch nur zwei Specialgleichungen, nämlich $t' = h_p \cdot 1 + k_p$ und $t'' = h_p \cdot 2 + k_p$ zu Gebot. Es ist aber sowohl bei $D = 1$, als auch bei $D = 2 = 4 = 6$ mit $P = 1$ und $P = 2$ beobachtet worden, daher hat man (auch wenn man die bei $D = 1$ erhaltenen Werthe von der Berechnung ausschliesst) folgende drei Bestimmungen von h_p und k_p:

	h_p	k_p
bei $D = 2$	0,1856	0,5104
bei $D = 4$	0,1765	0,7244
bei $D = 6$	0,2298	0,8073

h_p scheint bei Aenderung des D nur unregelmässig zu schwanken, die k_p aber wachsen mit wachsendem D, doch ist die ganze Bestimmung unsicher, da sie auf einer zu kleinen Anzahl Beobachtungen beruht. — Tabelle IX gibt zu folgender schöner Bewährung der Formel $t = h_p\ P + k_p$ Veranlassung (wobei jedoch nur die beim grösseren D erhaltenen Resultate Berücksichtigung finden können).

Zu Tabelle IX $FU\gamma$ Qu.

Zahl der Papillen	t		r'		E
	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.	
1	0,8221	0,8165	51	50,34	− 0,66
2	0,9373	0,9514	63	64,30	+ 1,30
3	1,0848	1,0862	75	75,10	+ 0,10
4	1,2379	1,2211	84	83,16	− 0,84
	$h_p = 0{,}1348$		$k_p = 0{,}6817$		$\Sigma\varepsilon_1 = 2{,}83$

Bei Anwendung der Formel $t = h_d D + k_d$ ist vorausgesetzt, dass nur die Concentration sich ändert, während die Grösse der schmeckenden Oberfläche constant bleibt, für Anwendung der zweiten Formel $t = h_p P + k_p$ ist das Umgekehrte vorausgesetzt Tabelle VIII gibt nun aber Veranlassang eine Formel zu suchen, welche gleichzeitiger Aenderung von D und P gerecht wird. Das zu dieser Formel gehörige t wird eine Function von $h_d D$ und $h_p P$ insbesondere sein und es wäre möglich, dass beide sich in $h_d \cdot h_p \cdot D \cdot P$ zusammenzögen, wonach die Formel für gleichzeitige Veränderung von D und P lauten würde:

$$t = h_{dp} D \cdot P + k_{dp}$$

(Die Bezeichnung h_{dp} und k_{dp} soll einer Verwechslung dieses dritten Constanten mit h_d oder h_p vorbeugen.)

Indem nun Tabelle VIII für $P = 1$ und $P = 2$ die D-Werthe 1; 2; 4; 6 hat, erhält man als Producte DP 1 und 2, 2 und 4 etc. mit zugehörigem r' und demnach t. Da aber bei $D = 1$ die

Verkehrtheit stattfindet, dass dem $P = 2$ ein kleineres r' entspricht als dem $P = 1$, so sind die bei $D = 1$ erhaltenen Werthe auszuschliessen, was in folgender Tabelle durch Einklammerung geschehen ist.

Zu Tabelle VIII nach der Formel $t = h_{dp} D \cdot P + k_{dp}$ nach Qu.

D	P	DP	r' beobacht.	r' berechn.	
(1)	(1)	(1)	(33)	(41,83)	
(1)	(2)	(2)	(30,5)	(45,55)	$h_{dp} = 0{,}04935$
2	1	2	47,5	48,00	
2	2	4	57,5	58,90	
4	1	4	59,5	58,90	$k_{dp} = 0{,}69773$
4	2	8	74,5	75,52	
6	1	6	71,5	67,01	(ohne Rücksicht auf die eingeklammerten Werthe berechnet)
6	2	12	85,5	86,87	

Auch ohne die mühsame Rechnung nach den Constanten kann man in den unmittelbaren Versuchsresultaten eine Forderung der Formel erfüllt sehen, indem $D = 4$ mit $P = 1$ nahezu dasselbe r' gibt, wie $D = 2$ mit $P = 2$. In Tabelle IX aber gibt $D = 15{,}72$ mit $P = 1$ merklich dasselbe r' wie $D = 13{,}21$ mit $P = 4$; nach unserer Formel müsste $15{,}72 \times 1 = 13{,}21 \times 4$ sein, was so enorm abweicht, dass es durch Versuchsfehler nicht zu erklären ist. Da also die Formel $t = h_{dp} DP + k_{dp}$ theoretisch nicht zu beweisen ist und die Versuchsergebnisse widersprechend sind, muss die Aufgabe als eine noch zu lösende betrachtet werden.

Man hat nicht selten die Empfindlichkeit verschiedener Versuchspersonen oder wie beim Tastsinn, verschiedener Stellen der Haut, beim Geschmacksinn verschiedener Stellen der Zunge zu vergleichen. Dies muss bei Anwendung unserer Versuchsmethode geschehen durch Vergleichung der jeweils erhaltenen Constanten h und k, welche für die Empfindlichkeit charakteristisch sind. Man kann aber, von der Formel $t = hD + k$ ausgehend, noch eine bequemere Form für diese Vergleichung finden. Nach der von Fechner

vorgeschlagenen und wie mir scheint zweckmässigsten Definition des Begriffes Empfindlichkeit ist z. B. die Empfindlichkeit der Hautstellen umgekehrt proportional zu setzen dem Reiz, welcher auf denselben gleiche Wirkung, also bei Anwendung unserer Methode gleiche r' hervorbringt. Entspricht nun auf einer Hautstelle einem $D = a$ ein gewisses r' und auf einer anderen einem $D = b$ dasselbe r', so verhalten sich die Empfindlichkeiten $= \frac{1}{a} : \frac{1}{b}$ und das Verhältniss derselben oder das sog. Aequivalensverhältniss ist $= \frac{b}{a}$. Heissen die jeweiligen Constanten h_a und k_a, sowie h_b und k_b, so ist $\frac{b}{a} = \frac{h_a}{h_b} + \frac{k_a - k_b}{h_a \cdot a}$ (siehe Fechner's Abhandlung über den Tastsinn; Band XIII. der Abhandlung der math.-physikal. Klasse der kgl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Nr. 2 S. 84). Oder wenn man $\frac{h_a}{h_b} = H$ und $\frac{k_a - k_b}{h_b} = K$ setzt, ist $\frac{b}{a} = H + \frac{K}{a}$. Wie man sieht, ändert sich $\frac{b}{a}$ mit Aenderung von a und es gibt also, ebenso wie unendlich viele Werthe von a, unendlich viele Werthe von $\frac{b}{a}$. Will man also für zwei Hautstellen das Aequivalensverhältniss angeben, so kann es sich nicht darum handeln, einen der Werthe von $\frac{b}{a}$ willkürlich herauszugreifen, sondern es muss der Mittelwerth von $\frac{b}{a}$ gefunden werden, sei es für den Fall, dass a alle möglichen Werthe von 0 bis ∞ annimmt, sei es, dass dasselbe sich nur innerhalb bestimmter Grenzen, also z. B. von α bis β ändert. Die Berechnung dieses Mittelwerthes geschieht nach Fechner in folgender Weise: Setzt man $\frac{b}{a} = y$, $a = x$, so ist $y = H + \frac{K}{x}$; $\bigvee_{\alpha}^{\beta}$ aber bezeichne den gesuchten Mittelwerth von y, wenn x von α bis β wächst. Nun ist $\bigvee_{\alpha}^{\beta} = \frac{\int_{\alpha}^{\beta} y\,dx}{\int_{\alpha}^{\beta} dx}$ oder wenn y durch seinen Werth $H + \frac{K}{x}$ ersetzt wird

$$\sqrt[\alpha]{\beta} = \frac{\int_\alpha^\beta \left(H \cdot dx + K \frac{dx}{x}\right)}{\int_\alpha^\beta dx},$$

woraus

$$\sqrt[\alpha]{\beta} = \frac{H(\beta - \alpha) + K(l\beta - l\alpha)}{\beta - \alpha} = H + \frac{K \log \frac{\beta}{\alpha}}{M(\beta - \alpha)}$$

wobei M den Modulus der natürlichen Logarithmen $= 0{,}43429$ bedeutet.

Endlich

$$\sqrt[0]{\infty} = H + \frac{K \log \frac{\infty}{0}}{M(\infty - 0)} = H = \frac{h_a}{h_b}$$

Der Mittelwerth von $\frac{b}{a}$ in den weitesten Grenzen von a hängt also nur von den Constanten h_a und h_b, nicht aber von k_a und k ab. Als Beispiel gebe ich das Aequivalenzverhältniss zwischen $P = 0{,}7^{\text{qcm}}$ und $P = 1{,}4^{\text{qcm}}$ (Tabelle VIII Nr. 1 und 2). Für h_a und k_a ($0{,}7^{\text{qcm}}$ entsprechend) wurden aus $D = 2;\ 4;\ 6$ nach Qu. berechnet die Werthe 0,0563 und 0,6788; für h_b und k_b wurden p. 586 schon angegeben die Werthe 0,0972 und 0,6879, demnach

$$\sqrt[2]{6} = \frac{0{,}0563}{0{,}0972} + \frac{\frac{0{,}6788 - 0{,}6879}{0{,}0972} \cdot \log \frac{6}{2}}{0{,}43429 \cdot 4}$$

$$= 0{,}57921 - 0{,}02571 = 0{,}55350$$

und

$$\sqrt[0]{\infty} = 0{,}57921.$$

Allerdings sind die Bestimmungen der Constanten h_a, h_b, k_a, k_b nicht genügend sicher, immerhin aber wird sich sagen lassen, dass $P = 1{,}4$ etwa doppelt so viel leistet als $P = 0{,}7$ und es würde nichts im Wege stehen, durch Anstellung von genügend vielen Versuchen das Verhältniss mit aller Schärfe zu erhalten.

Zum Schlusse dieser Untersuchung will ich noch mit ein paar Worten auf den Einfluss eingehen, welchen Verunreinigung des

Wassers ausüben kann. Abgesehen vom Schneewasser enthielten alle anderen theils Riechstoffe, theils Kohlensäure und Salze in verschiedener Menge, letztere enthält auch der Speichel selbst. Sofern nun Kochsalz und ähnlich schmeckende Salze in Betracht kommen, ist ein störender Einfluss in der That nicht vorhanden. Denn durch dieselben wird nur das D um eine Constante vergrössert und man hat dann die Formel

$$\begin{aligned} t &= h(D + c) + k \\ &= hD + hc + k. \end{aligned}$$

Da nun h und c Constante sind, kann man sich das Product $h \cdot c$ zu k geschlagen denken, wodurch man auf die ursprüngliche Formel $t = hD + k$ zurückkommt. Die übrigen Stoffe allerdings können störend einwirken (die Grösse der Störung ist übrigens während einer Versuchsreihe constant und die Versuche daher unter sich vergleichbar), und so wird man wohl unter sonst gleichen Umständen mit dem reinsten Lösungswasser die besten Versuchsresultate erhalten.

Die Resultate der ganzen Untersuchung wären nun etwa folgende:

Nach Fechner's früheren Untersuchungen auf dem Gebiet der Unterschiedsempfindlichkeit und nach unseren neueren gemeinsamen auf dem Gebiete der Empfindlichkeit für absolute Grössen kann man mittelst der Methode der richtigen und falschen Fälle die Empfindlichkeit überhaupt genau messen. Wo es sich um absolute Grössen handelt, hat man sich an die oben entwickelte Formel und das Rechnungsverfahren Fechner's zu halten; die Versuche müssen derart angestellt sein, dass Contrastwirkungen auszuschliessen sind; es müssen richtige, unentschiedene und falsche Fälle unterschieden und notirt werden, damit das Reductionsverfahren γ möglich ist. Für geübte Beobachter ist das wissentliche Verfahren dem unwissentlichen vorzuziehen, insoferne ersteres bei den Tastversuchen in entschiedenem Vortheil war, bei den Geschmacksversuchen zwar der Vortheil zwischen beiden Verfahren schwankt, das unwissentliche aber jedenfalls den Nachtheil hat, dass es weit leichter zu Verkehrtheiten Veranlassung gibt. Ueberdies muss man bei unserer Methode, wie übrigens bei allen psychophysischen Unter-

suchungen die Versuchsumstände genau vergleichbar erhalten und für möglichste Elimination constanter Fehler sorgen. Psychophysische Versuche überhaupt, und vor Allem solche mit Anwendung unserer Methode sollen daher nur von denjenigen angestellt werden, welche über die nöthige Zeit disponiren können und die nöthige Geduld haben, den zahlreich auftauchenden Fragen durch die genügende Anzahl von Versuchsreihen Rechnung zu tragen. Wo diese Umstände nicht zutreffen, ist von Anstellung derartiger Untersuchungen abzurathen, da das Resultat schlecht angestellter Versuche die aufgewandte Mühe nicht lohnen wird. Unter diesen Umständen wird manchem Leser das Bedenken aufsteigen, ob überhaupt derartige Versuche von so erheblicher Wichtigkeit für die Wissenschaft sind, dass sie die Mühe des Experimentators und Rechners rechtfertigen. Dies Bedenken erscheint um so gerechtfertigter, als über Psychophysik zwar viel geschrieben und gesprochen wird, die Zahl der Arbeiter auf diesem Gebiete aber eine kleine ist und es demnach scheinen könnte, als sei die ganze Disciplin nicht so recht lebensfähig. Darauf ist folgendes zu erwidern: Bei allen Beobachtungen und Experimenten bemüht man sich, die Apparate möglichst zu vervollkommnen oder etwaige Fehler, welche von denselben herrühren und sich nicht beseitigen lassen, in Rechnung zu bringen und man hat es in dieser Beziehung zu grosser Vollkommenheit gebracht. Je feiner aber die mechanischen Hilfsmittel sind, desto mehr kommen die psychophysischen Einflüsse in Betracht, welche die Beobachtungen nicht weniger beherrschen und je nach Anstellung der Versuche durch Einführung subjectiver Verhältnisse, allgemein vorkommender constanter Fehler etc. den Ausfall derselben abändern, resp. stören. Daher wird man wohl sagen dürfen, dass die psychophysischen Versuche und Versuchsmethoden vielleicht zu fein sind, um gegenwärtig eine grosse praktische Bedeutung zu haben, dass aber mit dem Fortschreiten der Wissenschaft das Gebiet sich erheblich ausdehnen wird, auf welchem diese Methoden und die mittelst derselben erlangten Aufschlüsse eine Berücksichtigung zu erfahren haben.

Endlich berichte ich noch kurz über Versuche, welche sich nicht zur Berechnung eigneten, welche aber doch ein gewisses Interesse beanspruchen können. Ich habe nämlich, um die Bedeutung

der häufig vorkommenden Entscheidung „unbestimmt“ besser kennen zu lernen, Versuche angestellt, bei welchen Kochsalzlösung, Chininlösung und Vexirwasser abwechselnd zur Verwendung kam, ohne dass die Beobachter wussten, welcher der Stoffe ihnen verabreicht wurde. Es wurden drei Kochsalzlösungen, drei Chininlösungen und zwei Vexirwasser dargereicht; die Concentrationsverhältnisse der Geschmacksstoffe entsprechen den oben angegebenen. Die Pausen zwischen den Versuchen betrugen zwei Minuten. Die acht Flüssigkeiten wurden in sechs verschiedenen Ordnungen dargereicht, eine Ordnung in einer Richtung durchgemacht, sodann fünf Minuten pausirt, dann kam dieselbe Ordnung in umgekehrter Richtung. An jedem Versuchstage wurde zwei Stunden ohne grössere Unterbrechung experimentirt. Durch die Anordnung der Versuche, auf welche ich hier des Näheren nicht eingehen will, wurde überhaupt der Einfluss des Contrastes, der Uebung und Ermüdung möglichst eliminirt. Es waren nun folgende Urtheile möglich: 1. salzig = *S*; 2. bitter = *B*; 3. Wasser = *W*; 4. unbestimmt = *U* mit den Unterabtheilungen a) eher salzig = *US*, b) eher bitter = *UB*, c) zwar kein Wasser, aber weder Entscheidung für salzig noch für bitter = *UT*; 4. das Urtheil wurde verweigert = *Un*.

Tabelle X.

(unwissentlich, gemischt, Urtheile in Procentwerthen)

	Beobachter I									Beobachter II									
Numm. d. Lösung	Salz			Chinin			Wasser			Salz			Chinin			Wasser			
	2	3	8	1′	1,5′	3′	*W*	*W*		2	3	8	1′	1,5′	3′	*W*	*W*		
S	27,5	66,9	98,7	—	—	—	—	0,6		52,5	71,9	98,7	—	—	—	—	—		160 Versuche für Beobachter und Lösung
B	1,9	—	—	41,2	55,6	81,9	10,0	1,9		0,6	—	—	64,4	83,1	90,6	1,2	0,6		
W	23,1	9,4	—	28,7	20,6	6,2	81,2	85,0		15,6	3,7	—	6,9	1,9	0,6	92,5	97,5		
US	41,9	21,2	1,2	1,2	1,2	—	0,6	3,7		22,5	19,4	—	0,6	—	—	—	—		
UB	2,5	1,2	—	26,2	21,9	10,0	7,5	5,6		0,6	0,6	—	22,5	10,0	7,5	5,0	1,2		
UT	3,1	0,6	—	2,5	0,6	1,9	0,6	3,1		8,1	4,4	1,2	5,6	4,4	1,2	0,6	—		
Un	—	0,6	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	0,6	—	0,6	0,6		

Von den 160 Versuchen sind 100 vom 29. Juli bis 11. September 1869 und 60 vom 1. Juli bis 5. Juli 1870 angestellt, letztere

auf 100 zu ergänzen wurde ich durch den Ausbruch des Krieges verhindert. Zur Prüfung der Formeln ist obige Tabelle deshalb nicht geeignet, weil z. B. beim Salz nicht klar wäre, wie die Entscheidungen *B*, *UB*, *UT* in Rechnung zu bringen wären. Der Umstand, dass Vexirwasser von beiden Beobachtern häufiger mit Chininlösung als mit Salzlösung verwechselt wurde, hängt von der Natur des gebrauchten Wassers ab. Dasselbe erhielt auch durch Beimischung einer kleinen Salzmenge, welche zu keiner eigentlichen Geschmacksempfindung mehr Veranlassung gab, eine Beschaffenheit, welche die Beobachter als weich bezeichneten, während das reine Wasser und die Chininlösungen hart genannt wurden.

Bemerkungen über einen dem Glycogen verwandten Körper in den Gregarinen.

Von

O. Bütschli.

In einer jüngst publicirten Arbeit über Gregarinen (s. Archiv für mikroskopische Anatomie Bd. 24 S. 545) beschäftigt sich Frenzel auch mit der Frage nach der chemischen Natur der Körner, welche, wie bekannt, das Entoplasma der Gregarinen fast immer dicht erfüllen. Auf Grund seiner Untersuchungen kommt er zu dem Schluss, dass meine über diese Körner gemachten Angaben (s. Archiv für Anatomie und Physiologie 1870 S. 362) nicht das Richtige getroffen hätten und zum Theil auf falschen Beobachtungen basirten.

Ich hatte damals die Körner der Gregarinen für eine dem Amyloid verwandte Substanz erklärt und stützte mich bei dieser Deutung speciell auf ihr eigenthümliches Verhalten gegen Jod. „Bringt man etwas Jodtinktur zu ihnen, so nehmen sie eine braunrothe bis braunviolette Farbe an, die sich auf Zusatz von etwas Schwefelsäure in eine sehr schön weinrothe bis veilchenblaue Farbe umändert.“ Mit diesen Worten beschrieb ich 1870 das Verhalten der Körner zu Jod. Ausserdem führte ich noch an, dass sie in Alkohol und Aether durchaus unlöslich seien, ebenso von verdünnten Mineralsäuren nicht angegriffen, von concentrirten dagegen rasch gelöst werden. Verdünntes Kali löst sie sehr rasch; mittelst des Millon'schen Reagenses erzielte ich keine sichere Eiweissreaction.

Frenzel sucht nun darzulegen, dass die Körner nicht Amyloid sein könnten und führt dafür eine Anzahl Gründe ins Feld, von welchen hauptsächlich einer unsere Beachtung verdient, die übrigen können wir meist, als auf allgemeinen Ueberlegungen basirend, bei Seite lassen[1]). Es ist ihm nämlich nicht geglückt, die charakteristische Reaction mit Jod zu erzielen, trotzdem dass er dasselbe Object wie ich, die Clepsidrina Blattarum, untersuchte. Er erhielt bei allen geprüften Gregarinen mit Jod stets eine gelb- bis dunkelbraune Färbung der Körner, die sich bei Zusatz von Schwefelsäure fast nicht veränderte. Er glaubt sogar den Grund der Täuschung, welcher ich, wie frühere Beobachter (Leidy und Kloss) verfielen, zu kennen, indem er vermuthet, dass wir kleine Jodkrystalle, welche bei Zusatz starker Schwefelsäure aus Jodlösungen ausgeschieden werden, und die nach ihm eine veilchen- oder röthlichblaue Farbe besitzen sollen, mit den Gregarinenkörnern verwechselt hätten. Obgleich ich zugeben muss, dass ich wie andere Menschenkinder dem Irrthum unterworfen bin, schien mir die Zumuthung, bei einer verhältnissmässig so einfachen Probe die Gregarinenkörner mit Jodkryställchen verwechselt zu haben, doch etwas zu stark, um diese Angelegenheit mit Stillschweigen zu übergehen. Ich hielt mich für verpflichtet, Herrn Frenzel darauf aufmerksam zu machen, dass er an die Beobachtungsgabe anderer Forscher den Maassstab anzulegen habe, welcher sich aus deren Gesammtthätigkeit ergibt und nicht denjenigen, den er dem eigenen Misslingen von Anderen richtig beschriebener Versuche entnimmt.

Ich benutzte daher eine freie Stunde und wiederholte den Versuch über das Verhalten der Körner der Clepsidrina Blattarum gegen Jod. Das erste gefundene Exemplar dieser Gregarine lieferte denn auch die volle Bestätigung meiner früheren Angaben, so dass

1) Frenzel führt als Grund gegen die Amyloidnatur der Körner noch an, dass sie mit Methylviolett eine blaue Färbung annehmen, nicht die rothe, welche Amyloid unter solchen Verhältnissen zeige. Diese Angabe kann ich bestätigen, bemerke jedoch, dass diese Farbenreaction auf Amyloid zu der Zeit, als ich meine ersten Untersuchungen anstellte, noch unbekannt war. Mit Saffranin färben sich die Körner ganz schwach roth. Frenzel erwähnt auch das Verhalten des Amyloids gegen Saffranin als charakteristisch, spricht sich jedoch nicht weiter über das der Gregarinenkörner zu diesem Farbstoff aus.

ich in dieser Hinsicht dem ehemals Bemerkten nichts zuzufügen habe. Ich musste mich nun vielmehr fragen, wie ist es möglich, dass Frenzel die charakteristische Jodreaction der Körner nicht erhalten konnte. Ich kann nur annehmen, dass er es einmal versäumt hat, die isolirten Körner zu untersuchen, und dann, dass er zu starke Jodlösungen verwendete, welche so dunkel färbten, dass feine Farbenunterschiede nicht mehr deutlich wahrzunehmen waren.

Mit dieser Bestätigung meiner früheren Angaben hätte ich es bewenden lassen können, doch zeigte sich auch bei dieser Gelegenheit, dass Einreden gewöhnlich das Gute mit sich führen, neue Erfahrungen zu veranlassen. Als ich die Jodreaction von neuem sah, kam ich auf den Gedanken, dass sich dieselbe möglicherweise noch auf einen anderen Körper als auf Amyloid beziehen liesse, nämlich auf Glycogen. Warum ich früher nicht an diesen Körper gedacht habe, ist mir jetzt nicht mehr erinnerlich.

Setzt man zu den durch Jod gefärbten Körnern halb verdünnte Schwefelsäure, so quellen sie sehr stark auf, wie ich schon früher schilderte; ihr doppelter Contur erhält sich dabei, indem er sich faltet und runzelt. Die hierbei eintretende Farbenveränderung der Körner kann nun auch in nicht unerheblichem Grad eine Folge der Quellung sein. Speciell dieser Gedankengang erweckte die Vermuthung, dass es sich doch vielleicht um Glycogen handeln könnte. Ich stellte, um diese Frage zu entscheiden, eine Anzahl Versuche an, deren Resultate ich im Folgenden mittheile.

Zunächst konnte ich feststellen, dass die Jodfärbung der Körner beim Erhitzen des Präparates bis nahe an den Siedepunkt schwindet, um sich beim Erkalten wieder einzustellen; beim Erhitzen quellen aber die Körner ganz in derselben Weise auf wie bei der Behandlung mit Schwefelsäure und sie erhalten dann auch bei dem Erkalten nicht mehr die ursprüngliche braunrothe Farbe, sondern die weinrothe bis veilchenfarbige, wie nach der Behandlung mit Schwefelsäure. Dieser Umstand bestärkte mich in der oben ausgesprochenen Vermuthung, dass die Farbenänderung hauptsächlich auf der Aufquellung beruhe.

Ich versuchte nun, die Natur der Körner durch einige chemische Reactionen sicherer zu stellen, wobei leider der Umstand etwas

erschwerend wirkte, dass die mir zu Gebote stehenden Blatta nicht reich an Gregarinen waren. Das Resultat der Versuche ist, wie ich vorgreifend bemerken will, dass der vorliegende Körper in einigen Eigenschaften mit dem Glycogen übereinstimmt, in anderen dagegen von ihm wesentlich abweicht. Auch zeigte sich eine gewisse Inconstanz der Resultate, die ich mir zur Zeit nicht völlig erklären kann und welche, wie mir scheint, speciell darauf hinweist, dass man bei derartigen Versuchen, die natürlich immer nur mit relativ sehr kleinen Mengen angestellt werden können, nicht vorsichtig genug sein kann.

Zunächst wurde also festgestellt, dass die Körner in kochendem Wasser löslich sind, ein Verhalten, das ich früher leider festzustellen versäumte, denn dadurch wäre die Deutung als Amyloid von vornherein unzulässig erschienen. Die gleiche Erfahrung hat mittlerweile auch schon Brass gemacht[1]), welcher aber über die eigentliche Natur der Körner nichts berichtet, sondern sie seltsamer Weise als Dotterkörnchen bezeichnet.

Ich habe den Versuch mit kleineren und grösseren Mengen von Gregarinen häufig wiederholt und gefunden, dass die Körner mit kochendem Wasser völlig ausgezogen werden können, so dass die mikroskopische Untersuchung, unterstützt von der Jodreaction, keine Spur derselben mehr nachzuweisen im Stande ist. Die Gregarinen wurden dabei entweder in intaktem Zustand oder nach Zerreiben in einer kleinen Achatschale ausgekocht. Letzteres Verfahren erscheint rationeller, weil die Lösung des Körpers jedenfalls sehr schwer durch die beim Kochen nicht zerstörte Cuticula diffundirt. Ich bemerke zunächst noch, dass das Kochen in kleinsten Reagenzgläschen auf dem Wasserbad vorgenommen wurde und um sicher zu gehen, nie unter drei bis vier Stunden, häufig aber noch viel länger fortgesetzt wurde.

Werden ganze Thiere in dieser Weise gekocht, so zerplatzt stets die Cuticula des Deutomerits, während die des Protomerits gewöhnlich intact bleibt. Deshalb wird die Lösung des Körpers bei hinreichendem Kochen aus dem zerplatzten Deutomerit völlig

---

1) A. Brass, Die Organisation der thierischen Zelle (2. Th. Halle 1884).

ausgezogen, wie die Jodreaction zeigt, während der Inhalt des unversehrten Protomerits, selbst nach siebenstündigem Kochen, bei Zusatz von Jodtinctur eine intensiv weinrothe Farbe annahm; jetzt natürlich völlig diffus. Dies scheint ein ausreichender Beweis für die oben gemachte Angabe, dass die Lösung unseres Körpers schwer oder kaum durch die Cuticula diffundirt.

Dass wir nun auf diese Weise den Körper in Lösung erhalten, ergibt sich sicher daraus, dass das Filtrat die charakteristische wein- bis purpurrothe Jodfärbung, je nach der Concentration mehr oder weniger intensiv, auf das Schönste zeigt.

Die früheren Untersuchungen hatten schon ergeben, dass der Körper in Alkohol unlöslich ist, sich als in dieser Hinsicht wie Glycogen verhält; dies lässt sich denn auch an der wässrigen Lösung (a) nachweisen. Uebergiesst man dieselbe mit absolutem Alkohol, so bildet sich auf der Grenze beider Flüssigkeiten eine weisse Wolke und lässt man sie einen Tag stehen so setzt sich ein weisser, pulverförmiger Körper an den Wänden des Gläschens ab. Derselbe wurde mit absolutem Alkohol abgewaschen und nach dem Verdunsten des Alkohols längere Zeit mit dreiprocentiger Schwefelsäure gekocht, worauf die Lösung mit Fehling'scher Flüssigkeit eine deutliche Zuckerreaction gab, indem sich ein Bodensatz von Kupferoxydulkryställchen bildete. Ich erwähne gleich, dass zweimal der Versuch gemacht wurde, die Thiere direct mit verdünnter Schwefelsäure (1 %) auszukochen, wobei gleichfalls eine völlige Lösung der Körner eintritt, gleichzeitig aber auch die Cuticula der Gregarinen zerstört wird. Die so erhaltene Lösung gibt die Jodreaction nicht mehr und ergab im ersten Fall mit Fehling'scher Lösung eine starke Reaction auf Zucker und ebenso bei der Probe mit basisch salpetersaurem Wismuth unter Zusatz von kohlensaurem Natron. Die zweite entsprechend behandelte Probe, bei welcher jedoch etwas weniger Thiere zur Anwendung gekommen waren, ergab nur eine schwache, jedoch deutliche Zuckerreaction.

Durch Behandlung der ganzen Thiere mit filtrirtem Speichel bei 40° werden die Körner ebenfalls rasch gelöst. Die Cuticula erfährt hierbei keine Veränderung und zeigt die Längsstreifung dann sehr schön. Der Versuch wurde mit einer grösseren Anzahl

Thieren (etwa 50) angestellt und dieselben ungefähr 22 Stunden mit Speichel digerirt. Die restirenden Thiere sind, wie gesagt, sehr wohl erhalten, geben keine Jodreaction mehr, der Kern war gut erhalten, aber etwas geschrumpft. Das Filtrat zeigt gleichfalls die Jodreaction nicht mehr. Es wird auf Zucker untersucht und ergibt, trotz Anwendung aller Vorsicht, nicht eine Spur desselben. Natürlich war der angewendete Speichel einerseits auf seine Wirksamkeit auf Glycogen aus der Kaninchenleber, wie andererseits auf die Abwesenheit von Zucker geprüft worden[1]).

Die durch die geschilderten Versuche schon erzielten Resultate wurden dann auch mit der wässrigen Lösung des Körpers wiederholt. Von zwei wässrigen Lösungen (b und a), welche die Jodreaction intensiv zeigten, wurden Proben mit wirksamem, zuckerfreiem Speichel eine Stunde lang bei 40° digerirt. In beiden Fällen zeigte sich dann keine Spur der Jodreaction mehr. Bei der ersten Probe liess sich keine Spur von Zucker nachweisen, in der zweiten zeigte sich eine deutliche Spur durch Gelbfärbung (Fehling), doch so schwach, dass kein Krystall von Kupferoxydul nachzuweisen war, während dieselbe Lösung in gleicher Quantität, mit verdünnter Schwefelsäure gekocht, einen reichlichen Bodensatz solcher Krystalle gab. Eine dritte Lösung, die nur 20 Minuten mit Speichel digerirt worden war, zeigte auch keine Zuckerreaction.

Ich kann aus diesen Resultaten nur schliessen, dass unser Körper von dem Speichelferment rasch verändert, aber nicht in reducirenden Zucker übergeführt wird.

Von einer relativ starken Lösung (a) wurden zwei Proben 3 bis 4 Stunden mit dem gleichen Volum sechsprocentiger Schwefelsäure gekocht und zeigten dann beide starke Zuckerreaction mit Fehling. Schon nach halbstündigem Kochen mit der Schwefelsäure ist die

1) Wenn man, sei es durch Wasser, Speichel oder verdünnter Schwefelsäure die Körner der Gregarine entfernt hat, so bleiben noch zahlreiche feinere Körnchen oder Tröpfchen in gleichmässiger Vertheilung in dem Entoplasma der Gregarine zurück. Ich habe schon bei früherer Gelegenheit hierauf aufmerksam gemacht (s. meine Protozoën S. 517). Da diese feinen Körnchen in Alkohol leicht löslich sind und sich bei Behandlung mit Osmiumsäure stark bräunen, so zweifle ich nicht, dass sie ein Fett sind.

Jodreaction verschwunden. Eine dritte Probe derselben Lösung (a) wird mit dem gleichen Volum sechsprocentiger Schwefelsäure im zugeschmolzenen Glasrohr vier Stunden lang auf 120° erhitzt und gibt dann starke Zuckerreaction.

Ich darf nun aber nicht verschweigen, dass mir bei einer anderen wässrigen Lösung (c) nach anhaltendem Kochen mit dem gleichen Volum sechsprocentiger und 33procentiger Schwefelsäure in zwei Proben die Zuckerreaction nicht gelang, ohne dass ich anzugeben vermag, worauf dieses Misslingen zurückzuführen ist.

Seltsamer Weise ging es mir auch ähnlich bei der Behandlung mit concentrirter Salzsäure. Ich kam auf die Idee, die Umwandlung mit concentrirter Salzsäure zu versuchen, weil in den beiden Proben, wie angegeben, die Ueberführung mit Schwefelsäure nicht geglückt war und ich dachte, dass sich der fragliche Körper in dieser Hinsicht vielleicht wie das Paramylon der Euglenen verhalten könnte, welches bekanntlich nicht durch verdünnte Schwefelsäure, dagegen durch concentrirte Salzsäure in Zucker übergeführt wird.

Wurde nun eine Probe der wässrigen Lösung (b) drei Stunden mit dem gleichen Volum concentrirter Salzsäure gekocht, so gab sie starke Zuckerreaction. Eine ähnliche, starke Zuckerreaction erhielt ich auch bei einem weiteren Versuch, wo eine Partie Thiere direct mit concentrirter Salzsäure mehrere Stunden gekocht worden war. Dagegen gelang nun bei drei Proben der relativ starken Lösung (a) die Ueberführung in Zucker durch Salzsäure bei gleichem Verfahren durchaus nicht; es konnte keine Spur einer Zuckerreaction erhalten werden.

Ich bin unvermögend zu sagen, worauf diese Differenzen, welche sowohl bei der Schwefel- wie Salzsäurebehandlung eintraten, beruhen; man möchte fast der Vermuthung Raum geben, dass sich der fragliche Körper nicht immer in gleicher Weise verhalte.

Im Allgemeinen möchte ich noch bemerken, dass ich mich natürlich überzeugte, dass der wässrige Auszug der Thiere an und für sich keinen Zucker enthält, was übrigens auch aus den verschiedenen Speichelversuchen hervorgeht und dass ich die zur

Untersuchung gekommenen Thiere von dem Darminhalt stets auf das sorgfältigste gereinigt habe, indem ich mit Wasser oder einprocentiger Kochsalzlösung so lang auswusch, bis alles lösliche sicher entfernt war und von dem eventuell anklebenden Darminhalt höchstens noch minime Spuren zurückgeblieben waren.

Aus den vorstehend mitgetheilten Untersuchungen hat sich demnach ergeben, dass der fragliche Körper folgende Eigenschaften besitzt. Er ist farblos und in kaltem Wasser nicht oder jedenfalls sehr schwer löslich; durch heisses Wasser wird er zum Quellen gebracht und allmählich gelöst. Die Lösung opalescirt gewöhnlich deutlich und diffundirt wahrscheinlich nicht durch thierische Membranen, wenigstens nicht oder äusserst schwer durch die Cuticula der Gregarine. In Alkohol und Aether ist er unlöslich und wird aus der wässrigen Lösung durch Alkohol gefällt. In seiner festen Form, wie er sich in dem Thierkörper findet, wird er durch Jod braunroth bis braunviolett gefärbt, in der Lösung dagegen oder im gequollenen Zustand weinroth bis purpurroth. Die Färbung verschwindet beim Erhitzen und kehrt beim Erkalten wieder.

Durch Behandlung mit Speichel wird der Körper rasch verändert, so dass die Jodreaction schwindet, jedoch nicht oder höchstens spurenweise in reducirenden Zucker übergeführt. Durch mehrstündiges Kochen mit verdünnter Schwefelsäure gelingt die Ueberführung in reducirenden Zucker gewöhnlich leicht. Die Ueberführung in Zucker durch Erhitzen mit concentrirter Salzsäure gelang einige Male, andere Male dagegen nicht.

Die wässrige Lösung gibt mit dem Millon'schen Reagens keine Reaction auf Eiweiss.

Aus diesem Verhalten scheint mir nun zu folgen, dass unser Körper thatsächlich ein naher Verwandter des Glycogens ist, dass er aber mit demselben nicht identisch sein kann. Man könnte ihn vielleicht, wenn sich die ausgesprochene Ansicht auch weiter bestätigen sollte, als Paraglycogen von dem eigentlichen unterscheiden.

Was die physiologische Rolle angeht, welche der in den Gregarinen gewöhnlich so massenhaft abgeschiedene Körper spielt, so

ist dieselbe jedenfalls identisch mit der der Amylon- und Paramyloneinlagerungen, welche wir bei dem meiner Ansicht nach verwandten Flagellaten häufig in so grosser Menge finden und demnach die eines aufgespeicherten Nahrungsstoffes.

Dass dieses Paraglycogen bei der Fortpflanzung der Gregarinen gewöhnlich nur zum kleinen Theil verbraucht wird, sondern in ansehnlicher Menge unbenutzt restirt, scheint mir gerade bei diesen parasitischen Wesen, welchen die Beschaffung der Nahrung gewöhnlich keine Schwierigkeiten bereiten wird, nicht sehr erstaunlich. Wenn wir von morphologischen Gesichtspunkten absehen und rein physiologisch erwägen, so bietet die Fortpflanzung bei zahlreichen Metazoën ganz Entsprechendes, denn auch hier geht bei der Fortpflanzung häufig der grösste Theil des Körpermaterials nutzlos zu Grunde und nur ein kleiner Theil lebt in den Nachkommen weiter.

Nicht unwichtig erscheint mir, dass ein nach der äusseren Erscheinung und dem Verhalten gegen Jod ganz entsprechender Körper auch in dem Leib anderer Protozoën in ansehnlicher Quantität vorkommt. Ich habe dies seiner Zeit (l. s. c.) für das in dem Enddarm der Blatta schmarotzende Infusor, Nyctotherus ovalis, nachgewiesen und später das Vorkommen eines entsprechenden Körpers in einem Infusor (Strombidium) aus der Kieler Bucht constatirt. Im letzteren Fall fand er sich nicht in Gestalt unregelmässiger Körner wie in den Gregarinen und dem Nyctotherus, sondern in krystallähnlichen Blättchen mit scharfen, geraden Umrissen.

Vor nicht langer Zeit hat Certes[1]) nachzuweisen gesucht, dass in vielen Infusorien, wie auch gewissen Rhizopoden, Glycogen vorkomme und zwar entweder im Plasma gelöst oder in Form kleiner Granulationen. Der Nachweis geschah nur mittelst der Jodreaction. Obgleich ich nun durchaus nicht in Abrede stellen will, dass sich echtes Glycogen bei den Infusorien finde, wäre es immerhin möglich, dass der in Form von Granulation beobachtete Körper, welcher

1) Certes, Sur la glycogénèse chez les infusoires. Compt. rend. Ac. sc. t. 90 1880 p. 70.

die charakteristische Jodreaction aufwies, kein wirkliches Glycogen gewesen sei, sondern solches Paraglycogen. Diese Vermuthung wird noch dadurch unterstützt, dass Ranvier[1]) neuerdings wieder mit sehr gewichtigen Gründen den Nachweis führte, dass das Glycogen in gelöstem Zustand in den Leberzellen der Säugethiere vorhanden ist[2]).

Heidelberg, den 18. April 1885.

1) Ranvier, Journal de micrographie t. IX p. 6.

2) Bei der Ausführung eines Theils der Zuckerproben hatte Herr Dr. Mays die Güte mir zu helfen, wofür ich demselben zu aufrichtigem Danke verpflichtet bin.

Ueber die Bedeutung der Cellulose-Gärung für die Ernährung der Thiere.

Von

W. Henneberg und **F. Stohmann.**

Durch unsere, in den Jahren 1857 bis 1862 ausgeführten Untersuchungen[1]) haben wir nachgewiesen, dass die sog. Holzfaser, welche man bis dahin, trotz einiger entgegenstehenden Beobachtungen von Haubner, allgemein für gänzlich unverdaulich hielt und als bedeutungslos für die Ernährung betrachtete, vom Rinde in grossen Mengen verdaut werde. Wir haben ferner gezeigt, dass der verdaute Antheil der Holzfaser für eine entsprechende Menge von anderen, bis dahin für verdaulich gehaltenen, in Wirklichkeit aber unverdaulichen Stoffen einzutreten vermöge. Endlich ergab sich aus unseren Arbeiten die Identität des von der Holzfaser verdauten Antheils mit der Cellulose. Gegen diese von uns constatirten Thatsachen sind bislang nennenswerthe Einwendungen nicht gemacht, vielmehr sind dieselben als werthvolle Erweiterungen der Kenntniss der Verdauungsvorgänge aufgenommen worden.

Erst in jüngster Zeit ist in einer, in vielen Beziehungen höchst werthvollen Arbeit von Tappeiner[2]) eine andere Ansicht über die Bedeutung der Cellulose für die Ernährung ausgesprochen worden,

---

1) Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. Braunschweig 1860 und 1864.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 20 S. 52.

die, wie so häufig das Neue als solches, ihre Anhänger gefunden hat und zwar, zum Theil wenigstens, über die Intentionen des Urhebers[1]) hinaus.

Nach Tappeiner vollzieht sich die Lösung der Cellulose nicht unter Bildung von Producten, deren Wirkungswerth mit dem der Kohlehydrate übereinstimmt, sondern durch einen von Bacterien hervorgerufenen Gärungsvorgang, als dessen Producte Kohlensäure, Sumpfgas (unter Umständen auch Wasserstoffgas), Buttersäure und Essigsäure auftreten. Die drei ersten verlassen den Körper als Gase, während die Säuren, wenigstens zum Theil, mit den festen und flüssigen Entleerungen ausgeschieden werden, und zwar scheint, nach Tappeiner, der Theil der Säuren, welcher letzteren Weg nimmt, ziemlich beträchtlich zu sein. Hierdurch sinkt die Bedeutung der Cellulose als Nährstoff, oder als Spannkraft lieferndes Material, mehr oder weniger tief. Dagegen tritt, nach Tappeiner, eine andere, bislang weniger beachtete Seite der Cellulose-Gärung mehr in den Vordergrund, und diese besteht in der dadurch hervorgerufenen mechanischen Zertrümmerung der Zellen der pflanzlichen Nahrungsmittel, wodurch deren Inhalt den verdauenden Secreten zugänglicher wird.

Für die Zwecke der Ernährung der Thiere ist es offenbar gleichgültig, ob die Lösung der Cellulose, wie wir bislang geglaubt haben, durch die Wirkung von, allerdings noch nicht nachgewiesenen, in den Verdauungssecreten enthaltenen, nicht geformten Fermenten, oder, wie Tappeiner bewiesen hat, durch die Thätigkeit von organisirten Fermenten, von Bacterien erfolgt. Eine Entscheidung dieser Frage hat deshalb für uns nur nebensächliches Interesse. Dagegen ist es von grösster Wichtigkeit, sich darüber zu vergewissern, ob der Cellulose nach wie vor ein hoher Werth als Nährstoff zugeschrieben werden darf, oder ob ihre Bedeutung so tief herabsinkt, wie Tappeiner annimmt.

Die Divergenz unserer Anschauungen gipfelt in der Frage:

1) Weiske, Ist Cellulose ein Nahrungsmittel? Chem. Centralblatt 1884 S. 385. — Stutzer, Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 9 S. 213.

Welche Menge von Spannkraft wird dem Körper bei der Umwandlung der Cellulose im Verdauungsapparat geliefert?

Die Antwort ergibt sich aus dem Studium der bei der Gärung entstehenden Producte und deren Verhalten im Thierkörper.

Tappeiner gibt uns die Unterlage hierfür in drei Versuchen[1]).

Es wurde künstliche Cellulose-Gärung, unter Züchtung von Ferment-Organismen, deren Vorkommen im Pansen- und Dickdarminhalt nachgewiesen war, eingeleitet. In eine einprocentige Fleischextractlösung wurde, unter Beobachtung aller Cautelen, Cellulose in Form von Papierbrei oder Baumwolle gebracht, worauf eine Aussaat von Gärungsorganismen des Panseninhalts vorgenommen wurde. Die so beschickten Apparate wurden bei einer Temperatur von 38 bis 40° C. erhalten. Unter diesen Umständen stellt sich in allen Fällen Gärung unter Gasentwicklung ein und zwar um so leichter, je mehr Luft in den Apparat eingeschlossen wird. Nach Beendigung derselben, nach Ablauf von ein bis vier Wochen, ist die Flüssigkeit von lebenden Organismen erfüllt, die Cellulose ist entweder ganz oder zum grössten Theil verschwunden, die Flüssigkeit enthält reichliche Mengen von Säuren.

Die einzelnen hierher gehörenden Versuche sind von besonderer Wichtigkeit, da die bei der Cellulose-Gärung gebildeten Producte darin einzeln bestimmt wurden.

Im ersten Versuche[2]) war von 13,0^{g} Baumwolle 5,5^{g} gelöst. Die dabei entstandenen flüchtigen Säuren neutralisirten 969,5^{ccm} $^{1}/_{10}$ Normalkalilösung. Die Analysen der Silbersalze der Säuren liessen die Säuren als ein Gemenge von fast gleichen Theilen Essigsäure und Buttersäure erkennen. Der Neutralisationswerth der 969,5^{ccm} Normalkalilösung entspricht 5,8^{g} Essigsäure. Da aber nicht Essigsäure allein, sondern ein Gemisch von gleichen Theilen Essigsäure und Buttersäure gebildet ist, so ist der Neutralisationswerth des Alkalis nicht auf erstere Säure, sondern auf das gleichtheilige Gemenge beider Säuren zu berechnen, und es ergibt sich dann die Menge der gebildeten Säuren zu 6,922^{g}. Da diese bei

1) a. a. O. S. 77.
2) a. a. O. S. 82.

der Gärung aus 5,5g Cellulose entstanden sind, so würden 100g Cellulose 126g Säure bilden.

In einem zweiten[1]), in grösserem Maassstabe ausgeführten Versuche wurde von neuem das Vorkommen von flüchtigen Säuren nachgewiesen und ausserdem das (auch bei anderen Gärungen bekannte) Auftreten von geringen Mengen von Aldehyd constatirt.

Im dritten Versuche[2]) wurde 1,8688g trockene Baumwolle verwandt, davon wurde 1,6664g gelöst. Die Menge der entwickelten Gase betrug (auf Normaldruck und Normaltemperatur reducirt) 474,1ccm. Die Gase hatten folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure .	70,96
Wasserstoff . .	2,71
Sumpfgas . .	23,04
Stickstoff[3]) . .	2,93

„Die Analyse zeigt, dass in diesem Versuche keine reine Cellulose-Sumpfgasgärung vorliegt, sondern etwas Cellulose unter Wasserstoff-Entwicklung vergoren worden sei. Da indes die Menge des Wasserstoffs im Verhältniss zu der des Sumpfgases nur gering ist, schien der Versuch doch zu einigen Berechnungen brauchbar zu bleiben."

Auf Grund dieser Zahlen wird die bei der Gärung von 100g Cellulose gebildete Menge von Gasen berechnet zu

33,5g Kohlensäure und
4,7g Sumpfgas.

Combiniren wir diese Zahlen mit den Resultaten des ersten Versuches, so ergibt sich folgendes:

100g Cellulose liefern an Gärungsproducten:

33,5g	Kohlensäure mit	9,14g	Kohlenstoff
4,7g	Sumpfgas „	3,52g	„
63,0g	Essigsäure „	25,20g	„
63,0g	Buttersäure „	34,35g	„
164,2g	Gärungsproducte mit	72,21g	Kohlenstoff.

1) a. a. O. S. 84.
2) a. a. O. S. 87.
3) Im Original steht hier Wasserstoff, doch ist dies wohl ein Druckfehler.

Aus 100g Cellulose mit 44,44g Kohlenstoff sind daher 164,2g Gärungsproducte mit 72,21g Kohlenstoff hervorgegangen.

Diese Zahlen zeigen auf das Deutlichste, dass irgendwo bei der Untersuchung ein Fehler gemacht worden ist, der weit über die Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler hinausgeht. Wenn auch der erste Versuch, in welchem die Menge der entstandenen Säuren bestimmt wurde, mehr als ein orientirender, auf quantitative Genauigkeit keinen Anspruch machender, bezeichnet wird, so hätte doch ein Blick auf das Resultat desselben genügt, um seine absolute Unbrauchbarkeit darzuthun. Es wäre ein Leichtes gewesen, diesen Versuch zu wiederholen. Dies ist jedoch nicht geschehen, sondern es wird in Späterem die vorliegende Beobachtung einfach ignorirt, und die sich bildende Säure ohne Weiteres auf etwa die Hälfte reducirt[1]). Dagegen wird der dritte Versuch beibehalten und aus dem Auftreten von 4,7g Sumpfgas auf die Zersetzung von 100g Cellulose geschlossen.

Um den Untersuchungen weiter folgen zu können, genügt jedoch die Kenntniss der Menge der Kohlensäure und des Sumpfgases nicht, wir bedürfen dazu Aufschluss über die Menge der sonstigen Gärungsproducte. Da obige Zahlen uns im Stich lassen, so erübrigt nichts, als die Menge der entstehenden Säuren, unter Nichtberücksichtigung der geringen Mengen von Aldehyd, aus dem Kohlenstoffgehalt der Cellulose durch Differenzrechnung, nach Abzug des in den gasigen Producten enthaltenen Kohlenstoffs zu ermitteln, wobei wir nach Tappeiner's Vorgang[2]), annehmen, das Säuregemenge bestehe aus gleichen Theilen Essigsäure und Buttersäure.

Hiernach würde der Gärungsvorgang sich folgendermaassen gestalten.

100g Cellulose liefern:

33,5g	Kohlensäure	mit	9,14g	Kohlenstoff
4,7g	Sumpfgas	"	3,52g	"
33,6g	Essigsäure	"	13,44g	"
33,6g	Buttersäure	"	18,33g	"
105,4g	Gärungsproducte	mit	44,43g	Kohlenstoff.

1) a. a. O. S. 113.

2) Vgl. a. a. O. S. 83.

Wollte man diese Verhältnisse in einer Gärungsgleichung zum Ausdruck bringen, so würde die folgende genau obigen Zahlen entsprechen:

$$21\,C_6H_{10}O_5 + 5\,H_2O + 6\,O =$$
$$26\,CO_2 + 10\,CH_4 + 19\,C_2H_4O_2 + 13\,C_4H_8O_2.$$

Da diese Gärungsgleichung die Aufnahme von freiem Sauerstoff involvirt, so ist vielleicht die folgende richtiger:

$$21\,C_6H_{10}O_5 + 11\,H_2O =$$
$$26\,CO_2 + 10\,CH_4 + 12\,H + 19\,C_2H_4O_2 + 13\,C_4H_8O_2.$$

Nach dieser Gleichung liefern 100^g Cellulose unter Aufnahme von $5{,}82^g$ Wasser:

$33{,}63^g$	Kohlensäure,
$4{,}70^g$	Sumpfgas,
$0{,}35^g$	Wasserstoff,
$33{,}51^g$	Essigsäure,
$33{,}63^g$	Buttersäure,
$105{,}82^g$	Gärungsproducte.

Als Hauptargument für seine Theorie zieht Tappeiner die wenigen Bestimmungen des Sumpfgases, welche bei der Untersuchung des Stoffwechsels der Pflanzenfresser bislang ausgeführt sind, heran und glaubt, da bei einigen, von dem Einen von uns publicirten Beobachtungen zwischen dem ausgeschiedenen Sumpfgase und der verdauten Cellulose ein Verhältniss von annähernd 4,7 : 100 gefunden worden ist[1]), hierin eine Bestätigung seiner Lehre zu erblicken.

Ob diesen Beobachtungen jedoch irgend welche Beweiskraft zuzusprechen ist, ist fraglich.

Dieselben wurden mit Hilfe eines Pettenkofer'schen Respirations-Apparates in bekannter Weise ausgeführt. Es wurde der Kohlensäuregehalt der mit den Respirationsproducten beladenen Luft in der einen Probe bestimmt, während eine zweite Luftprobe über glühendes Kupferoxyd u. s. w. geleitet ward und dann zur Bestimmung der Kohlensäure diente. Die Differenz im Kohlensäure-

1) Vgl. a. a. O. S. 117.

gehalt der beiden Luftproben ergibt die Menge des Sumpfgases. Im Princip ist diese Methode vortrefflich. Sie müsste richtige Resultate geben, wenn es möglich wäre, mit dem Respirationsapparat absolut genau die Menge der vorhandenen Kohlensäure festzustellen. Dies ist aber nicht möglich, weil die zur Messung der analysirten Luftmengen dienenden Gasuhren, von welchem Fabrikanten sie auch geliefert seien und welche Sorgfalt auf deren Aichung verwandt worden sei, mit gewissen Fehlern behaftet sind, die es nicht erreichen lassen, dass zwei, unter ganz gleichen Bedingungen ausgeführte Bestimmungen jemals absolut übereinstimmende Resultate liefern. Sind diese Abweichungen auch nicht gross genug, um in der Gesammtmenge der Kohlensäure einen nennenswerthen Fehler herbeizuführen, so fallen sie doch sehr erheblich ins Gewicht bei der Bestimmung des Sumpfgases und umsomehr, da die absolute Menge des vorhandenen Sumpfgases stets sehr gering ist. Macht man dann aus dem so bestimmten Sumpfgase einen Rückschluss auf die Menge der verdauten Cellulose, so vergrössert sich der Fehler im Verhältniss von 4,7 : 100.

Um hierfür ein Beispiel zu geben: Es sei in einem Respirationsversuch, bei einer Ventilation des Apparates von 50^{cbm} in der Stunde, der Kohlensäuregehalt der einen Luftprobe zu 2,1651^{g} in 1000^{l}, der einer zweiten ganz gleichen Luftprobe zu 2,1759^{g} bestimmt. Die sich hier ergebende Differenz von 0,0108^{g} Kohlensäure liegt durchaus innerhalb der Grenze der unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Strömen in 24 Stunden 1200^{cbm} Luft durch den Apparat, so ergibt dies einen Beobachtungsfehler von 12,96^{g} Kohlensäure. Diese Menge von Kohlensäure entspricht 4,7^{g} Sumpfgas oder nach Tappeiner 100^{g} zersetzter Cellulose. Da ein Schaf oder eine Ziege etwa 200^{g} Cellulose in 24 Stunden verdaut, so kann das Resultat des Versuchs durch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler um 50 % beeinflusst werden.

Wie weit diese Fehler in den in Wirklichkeit ausgeführten Versuchen gehen, erhellt am besten aus den von dem Einen von uns erhaltenen und von Tappeiner benützten Zahlen[1]), wo, in

1) a. a. O. S. 117, Ochs, II, Vers. 5.

vier unter ganz gleichen Bedingungen ausgeführten Versuchen, die von einem Ochsen in zwölf Stunden scheinbar producirte Menge von Sumpfgas das eine Mal 5^g, das andere Mal 10^g, das dritte Mal 45^g und das vierte Mal 50^g betrug.

Die mit solchen Beobachtungsfehlern behafteten Zahlen werden dann im Verhältniss von 4,7 : 100, oder unter 21 maliger Vergrösserung der Fehler, benutzt, um aus der nachgewiesenen Menge des ausgeschiedenen Sumpfgases auf die Menge der verdauten Cellulose zu schliessen. Je nachdem man für diese Rechnung die eine oder die andere der obigen Zahlen verwendet, würde das Thier in 24 Stunden folgende Mengen von Cellulose verdaut oder durch Gärung zerstört haben:

213^g, oder
425^g, oder
1915^g, oder
2128^g,

während die Beobachtung im Verdauungsversuch 1810^g ergab.

Den bei den Sumpfgas-Bestimmungen gefundenen Maximalzahlen einen höheren Werth als den Minimalzahlen beizulegen, wie Tappeiner es thut, ist entschieden nicht zulässig, so lange die Fehlerhaftigkeit der einen oder die Fehlerlosigkeit der anderen Versuche nicht erwiesen ist.

Für die Bedeutung der Cellulose als Nährstoff kommt das Verhalten der Gärungsproducte im Organismus in Betracht. Tappeiner[1]) sagt hierüber:

„Von 100 Theilen zersetzter Cellulose erscheinen nach dem dritten quantitativ geführten Gärungsversuch, falls die dort gemachte Voraussetzung zutrifft, annähernd 60 Theile als flüchtige Fettsäuren wieder. Es kommt indes nicht diese ganze Menge dem Organismus zu gute. Ein Theil dieser Säuren entgeht der Resorption und erscheint mit den Excrementen. Ein anderer Theil wird wohl resorbirt, verlässt aber den Organismus unverändert durch den Harn. Dieser Theil scheint sogar ziemlich beträchtlich zu sein[2]). Es

1) a. a. O. S. 119.
2) Vgl. Schotten, Zeitschrift f. physiol. Chem. Bd. 7 S. 375.

wird daher nicht viel mehr als die Hälfte der zersetzten Cellulose an den Ernährungsprocessen des Organismus sich betheiligen können[1]."

Aus den Versuchen von Schotten, auf die hier Bezug genommen ist, geht aber hervor, dass bei einem Hunde, dem 10 bis 20g organische Säuren in Form von Natronsalzen gegeben werden, die im Harn normal auftretende Menge von organischen Säuren nur ganz wenig vermehrt wird, wenn ihm die uns hier interessirende Buttersäure gereicht wird, dass dagegen nach Verfütterung von 25g essigsaurem Natron im Harn eine grössere Menge von Säuren, mindestens 1,6g auftritt.

Die bei der Gärung gebildete Buttersäure dient daher ganz unzweifelhaft den Zwecken des Organismus. Und ob man hinsichtlich der Essigsäure zu dem von Tappeiner gemachten Schluss kommen muss, ist fraglich.

Ganz andere Verhältnisse walten offenbar ob, je nach den Mengen von Salzen, welche in der Zeiteinheit in die Blutbahn treten. Es ist ein gewaltiger Unterschied, ob man, wie Schotten gethan hat, einem Hunde in einer Portion, oder in wenigen Portionen, 25g essigsaures Natron gibt, oder ob die Essigsäure continuirlich, in der Zeiteinheit in minimalsten Mengen, im Organismus sich bildet. Im ersteren Falle wird das Blut mit dem Salze überladen werden, ein Theil des Salzes wird zur Ausscheidung kommen, weil die zu seiner Zersetzung ihm gegebene Zeit zu kurz bemessen ist. Bei einer continuirlichen Bildung im Gärungsprocess wird aber niemals eine Anhäufung des oxydirbaren Salzes im Blute stattfinden, weil die im Kreislauf des Blutes und in den Geweben erfolgende Zersetzung mit der Aufnahme gleichen Schritt hält.

Schon bei unseren ersten Versuchen[2]) ist unsere Aufmerksamkeit auf die Ausscheidungen von organischen Säuren gerichtet gewesen. Auf Grundlage unserer damaligen Beobachtungen kamen wir zu dem Ausspruch, dass nennenswerthe Mengen von organischen Säuren, mit Ausnahme der Hippursäure, nicht im Harn entleert werden.

---

1) Im Original nicht in gesperrter Schrift.

2) Beiträge Bd. 1 S. 127.

Dies hat durch die von dem Einen von uns veranlasste, nachstehende Arbeit von Wilsing seine Bestätigung gefunden. Das Thier verdaute pro Tag 233g Cellulose, woraus nach Obigem 157g flüchtige Säuren (67,2 %) hervorgehen mussten. Hiervon sind im Ganzen pro Tag im Harn 2g und im Koth 1,8g ausgeschieden.

Die bei der Gärung der Cellulose entstehenden flüchtigen Säuren finden daher sowohl im Darme eine recht vollständige Ausnutzung, wie beim Passiren der übrigen Körpertheile eine recht gute Verwerthung.

Mit dieser Erkenntniss nähern wir uns unserem Ziele beträchtlich.

Wenn die Gärungsproducte im Organismus vollständig verbraucht werden, so ist dies gleichbedeutend mit einem Verbrauch der Cellulose. Findet aber nur ein Theil derselben Verwerthung, so wird der Werth der Cellulose als Nährstoff um den Betrag an Spannkraft verringert, welcher in den den Körper verlassenden Producten enthalten ist. Da die flüchtigen Säuren bis auf kleine, nicht zu beachtende Reste dem Stoffwechsel des Körpers verfallen, so bleibt als nicht verwerthbar nur die Gesammtmenge der Kohlensäure und das Sumpfgas, soweit das letztere direct vom Magen und vom Darm nach aussen entleert wird. Ob alles Sumpfgas diesen Weg nimmt, oder ob nicht ein Theil desselben resorbirt und dann oxydirt wird, ist noch nicht erwiesen. Für eine Resorption des Sumpfgases sprechen einzelne Versuche von Tacke[1]), bei denen keine Darmgase entleert, wohl aber Sumpfgas mit den Respirationsproducten ausgeschieden wurde (Versuch IV und VI). Wenn aber das Sumpfgas vom Blute aufgenommen wird, so ist die Möglichkeit einer, wenn auch nur partiellen, Verbrennung nicht ausgeschlossen. Wir wollen jedoch hiervon absehen und die Gesammtmenge des Sumpfgases als zu Verlust gehend betrachten.

Der in der Cellulose aufgespeicherte Vorrath an Spannkraft lässt sich durch ihren experimentell bestimmten Wärmewerth ausdrücken. Von fast keiner anderen Substanz ist der Wärmewerth so genau bekannt, wie der der Cellulose, da drei verschiedene Untersuchungen, von drei Forschern, nach gänzlich verschiedenen Methoden ausgeführt, fast absolut übereinstimmende Ergebnisse ge-

1) Ueber die Bedeutung der brennbaren Gase im thierischen Organismus. Inaugural-Dissertation. Berlin 1884.

liefert haben[1]). Ebenso sind uns die Wärmewerthe der Gärungsproducte bekannt. Durch Vergleichung der Summe der Wärmewerthe der Gärungsproducte mit dem Wärmewerthe des vergorenen Materials ergibt sich dann die bei der Gärung frei werdende Wärme, welche dem Organismus zu gute kommt. Ob diese Wärme im Darm frei wird, oder erst beim Stoffwechsel in den Geweben des Körpers gebildet wird, bleibt sich im Effecte gleich, sie wird immer nutzbar gemacht.

Der Wärmewerth des Gärungsprocesses beträgt:

100g Cellulose (100 × 4146) . .	414600 cal.

Daraus geht hervor:

33,5g Kohlensäure	0
4,7g Sumpfgas (4,7 × 13344) .	62717 "
33,6g Essigsäure (33,6 × 3505) .	117768 "
33,6g Buttersäure (336 × 5647)	189739 "
Gärungswärme	44376 "
	414600 cal.

Wenn demnach der Gärungsprocess so verläuft, wie nach den Tappeiner'schen Beobachtungen angenommen werden muss, und wenn wirklich die Gesammtmenge des Sumpfgases für den Organismus verloren geht, so wird der Nährwerth der Cellulose allerdings nicht so hoch sein, wie bislang angenommen ist, sondern es ist derselbe um den Betrag des Wärmewerthes des Sumpfgases zu verringern.

Dessen Grösse ist 62717 cal. für je 100g der vergorenen Cellulose, oder in runder Zahl 15% des Gesammtwerthes. Trotz dieser Verringerung bleibt die Cellulose ein Nährstoff von hoher Bedeutung, 266 Theile derselben sind unter diesen Umständen mit 100 Theilen Fett isodynam.

Bis hier stehen wir vollständig auf dem Boden des Tappeiner'schen Gärungsversuches, der nur das vergärende Material und dessen Endproducte berücksichtigt. Zu erwägen bleibt jedoch, ob die Zersetzung der Cellulose im Organismus genau so verläuft,

1) Vgl. Stohmann, Calorimetrische Untersuchungen. Landw. Jahrbücher 1884, S. 554.

wie dort beobachtet worden ist. Es erscheint wenig wahrscheinlich, dass die ganz unlösliche Cellulose als solche, in ungelöstem Zustande, von den Gärungsorganismen angegriffen werde, es ist nicht glaublich, dass die Bacterien Cellulose „fressen". Viel wahrscheinlicher ist vielmehr die Annahme eines, allerdings noch nicht bekannten, Uebergangsstadiums, welches zwischen der unlöslichen Cellulose und den Gärungsproducten liegt, in welchem die Cellulose in einen löslichen Körper verwandelt wird, der zu ihr in einem ähnlichen Verhältniss steht, wie die Maltose zu dem Stärkmehl. Analogien für eine derartige Verflüssigung der Cellulose bietet uns die Pflanzen-Histologie in Hülle und Fülle. Existirt aber ein solcher Körper und ist derselbe resorptionsfähig, so wird es fraglich, welcher Theil der Cellulose in dieser Form zur Resorption gelangt und wie viel davon für die Gärung übrig bleibt. Ist das Resorptionsvermögen des Darmes grösser als die Energie der Gärungsbacterien, so wird ein sehr grosser Theil sich der Gärung entziehen, und dies wird um so wahrscheinlicher, da nach den Tappeiner'schen Versuchen die Energie der Gärungsbacterien nicht sehr gross zu sein scheint, wie aus dem langsamen Verlauf der Gärungen erhellt.

Die Schlussbehauptung Tappeiner's, es sei die Rolle, welche die Cellulose-Gärung (oder, wie bislang angenommen, die nach vorgängiger Lösung erfolgende Verdauung der Cellulose) bei der Verdauung der sonstigen Bestandtheile des Futters der Pflanzenfresser spielt, weniger beachtet worden, — müssen wir als irrig zurückweisen. Es ist Niemanden der Zustand, in welchem die Futterstoffe in den Verdauungsapparat gelangen, unbekannt, ein Jeder weiss, dass sie zum grossen Theil unverletzte Pflanzenzellen darstellen, deren Inhalt erst den Verdauungssecreten zugängig werden kann, wenn die Zellmembranen kein Hinderniss mehr darbieten. Ob dieses Hinderniss durch die Thätigkeit von Bacterien, oder durch eine Lösung der Zellmembranen hinweggeräumt werde, bleibt sich gleich. Wir haben die Nothwendigkeit dieser Lösung alljährlich unseren Schülern gelehrt, ohne es aber für nöthig gehalten zu haben, eine so auf der Hand liegende Thatsache besonders an die Oeffentlichkeit zu bringen.

Ueber die Mengen der vom Wiederkäuer in den Entleerungen ausgeschiedenen flüchtigen Säuren.

Von

H. Wilsing.

Nachdem durch die Untersuchungen von Tappeiner erwiesen ist, dass der verdaute Theil der Cellulose, wenigstens zum Theil, durch Gärungsvorgänge, unter Bildung von reichlichen Mengen von Essigsäure und Buttersäure gelöst werde, ist es von Wichtigkeit geworden, weiteren Aufschluss über das Verhalten dieser Säuren im Organismus zu erlangen. Ich habe deshalb auf Veranlassung des Herrn Prof. Stohmann die nachstehenden Untersuchungen ausgeführt.

Als Versuchsthier diente ein in frühester Jugend castrirter Ziegenbock von 69^{kg} Lebendgewicht. Derselbe erhielt, und zwar schon eine Woche vor Beginn der Versuche, ein tägliches Futter von $1{,}5^{kg}$ Wiesenheu. Der Koth wurde mittelst eines am After befestigten Gummibeutels, der Harn mittelst eines Gummitrichters auf bekannte Weise gesammelt. Die täglich ausgeschiedenen Mengen beider wurden durch Wägung festgestellt. Vom Koth wurden 150^{g} nach sorgfältigem Zerreiben mit ca. 2^{l} Wasser extrahirt und die Flüssigkeit nach dem Absitzen abgehoben. Diese Operation wurde so oft wiederholt, bis die Flüssigkeit fast farblos war und mit Alaunlösung keine Fällung mehr gab. Das Gesammtextract wurde darauf eingedampft und mit wenig Alaunlösung versetzt. Die flüchtigen Fettsäuren werden dadurch nicht gefällt, dagegen reisst

der entstehende Niederschlag die suspendirten feinen Koththeilchen mit sich, und man erhält eine klare, leicht filtrirbare Flüssigkeit, die, mit Schwefelsäure versetzt, im Dampfstrom destillirt wurde. Völlige Klärung des Extractes musste erzielt werden, weil im anderen Falle möglicher Weise, durch Einwirkung der bei der Destillation zuzufügenden Schwefelsäure auf die ungelösten Bestandtheile des Kothes, flüchtige Säuren gebildet werden könnten.

Vom Harn wurden 200^{ccm} wie bei der Hippursäure-Bestimmung auf 50^{g} eingedampft, mit 20^{ccm} verdünnter Schwefelsäure = 8^{g} H_2SO_4 versetzt, die Hippursäure nach 24 Stunden abfiltrirt und ausgewaschen, das Filtrat destillirt. Die Destillation wurde in einem Kolben ausgeführt, der von unten durch einen Gasofen erhitzt wurde, während ein Dampfstrom eingeleitet wurde. Durch geeignete Regulirung des Dampfstromes und des Ofens lässt sich das Flüssigkeitsvolum selbst bei Tage langem Destilliren unverändert erhalten. Die Destillation wurde so lange fortgesetzt, bis das zuletzt übergehende mit neutralisirter Rosolsäurelösung keine saure Reaction mehr zeigte.

Bei der Harndestillation erhält man ausser den Fettsäuren auch die aus dem Chlornatrium stammende Salzsäure und Benzoësäure aus der noch gelöst gewesenen Hippursäure. Nachdem daher die Gesammtsäuremenge durch Titration mit Barytwasser festgestellt war, wurden die neutralisirten Destillate eingedampft und darin eine Chlorbestimmung ausgeführt. Das saure Filtrat von letzterer wurde mit Aether ausgeschüttet, der Aether bei gewöhnlicher Temperatur verdampft, die zurückbleibende Benzoësäure mit wenig kaltem Wasser gewaschen, abfiltrirt, über Schwefelsäure getrocknet und gewogen. Entsprechend der Löslichkeit der Benzoësäure von ca. 2 : 1000 in Wasser von 10° musste dann, in analoger Weise wie bei der Hippursäurebestimmung, pro Cubikcentimeter Flüssigkeit 2^{mg} Benzoësäure als Correctur hinzugefügt werden.

A. Untersuchung des Harnes.

Versuch I, 4. August 1884.

Harnmenge in 24 Stunden 992^{g}.

Specifisches Gewicht 1,05.

200^{ccm} Harn lieferten flüchtige Säuren entsprechend 204^{ccm} Barytwasser.

1 ccm Barytwasser = 0,002095 g H_2SO_4.
200 ccm = 210 g Harn lieferten flüchtige Säuren = 0,427 g H_2SO_4.

Versuch II, 5. August.

Harnmenge 830 g.
Specifisches Gewicht 1,05.
200 ccm Harn lieferten flüchtige Säuren entsprechend 236 ccm Barytwasser.
1 ccm Barytwasser = 0,002102 g H_2SO_4.
200 ccm = 210 g Harn lieferten flüchtige Säuren = 0,496 g H_2SO_4.

Versuch III, 2. October.

Harnmenge 815 g.
Specifisches Gewicht 1,048.
200 ccm Harn lieferten flüchtige Säuren entsprechend 128 ccm Barytwasser.
1 ccm Barytwasser = 0,001991 g H_2SO_4.
200 ccm = 209,6 g Harn lieferten flüchtige Säuren = 0,255 g H_2SO_4.

Versuch IV, 13. October.

Harnmenge 1241 g.
Specifisches Gewicht 1,0565.
200 ccm Harn lieferten flüchtige Säuren entsprechend 219 ccm Barytwasser.
1 ccm Barytwasser = 0,001984 g H_2SO_4.
200 ccm = 211,3 g Harn lieferten flüchtige Säuren = 0,434 g H_2SO_4.

Versuch V, 17. October.

Harnmenge 812 g.
Specifisches Gewicht 1,052.
200 ccm Harn lieferten flüchtige Säuren entsprechend 167 ccm Barytwasser.
1 ccm Barytwasser = 0,001982 g H_2SO_4.
200 ccm = 210,4 g Harn lieferten flüchtige Säuren = 0,331 g H_2SO_4.

Chlorwasserstoffbestimmungen im Harndestillat.

1. Destillate von Versuch I und II vereinigt gaben:

   0,426 g Chlorsilber,
   = 0,108 g Chlorwasserstoff,
   = 0,145 g H_2SO_4.

   Die Destillate enthielten:

   flüchtige Säuren im Ganzen = 0,923 g H_2SO_4,
   darin Chlorwasserstoff = 0,145 g H_2SO_4.

   Mithin sind von der Gesammtmenge 15,7% für Chlorwasserstoffsäure abzuziehen.

2. Destillate von Versuch III und V vereinigt gaben:

   0,165 g Chlorsilber,
   = 0,042 g Chlorwasserstoff,
   = 0,056 g H_2SO_4.

Die Destillate enthielten:

flüchtige Säuren im Ganzen = 0,586ᵍ H_2SO_4
darin Chlorwasserstoff = 0,056ᵍ H_2SO_4.

Mithin sind von der Gesammtmenge 9,6% für Chlorwasserstoffsäure abzuziehen.

3. Destillat von Versuch IV gab:

0,149ᵍ Chlorsilber,
= 0,038ᵍ Chlorwasserstoff,
= 0,051ᵍ H_2SO_4.

Das Destillat enthielt:

flüchtige Säuren im Ganzen = 0,434ᵍ H_2SO_4,
darin Chlorwasserstoff = 0,051ᵍ H_2SO_4.

Mithin sind von der Gesammtmenge 11,8% für Chlorwasserstoffsäure abzuziehen.

Benzoësäurebestimmung.

Die Harndestillate von Versuch III und IV vereinigt gaben:

direct gewogen	0,114ᵍ	Benzoësäure
Correction für 43ᶜᶜᵐ Flüssigkeit	0,086ᵍ	„
Gesammtmenge	0,200ᵍ	Benzoësäure
	= 0,080ᵍ	H_2SO_4.

Mithin sind für das Destillat von 200ᶜᶜᵐ Harn je 0,040ᵍ H_2SO_4 für Benzoësäure von der Gesammtmenge abzuziehen.

B. Untersuchung des Kothes.

Dieselbe wurde nur in zwei Versuchen ausgeführt.

Versuch III, 2 October.

Kothmenge in 24 Stunden 565ᵍ.
150ᵍ extrahirt lieferten flüchtige Fettsäuren entsprechend 164ᶜᶜᵐ Barytwasser.
1ᶜᶜᵐ Barytwasser = 0,001998ᵍ H_2SO_4.
150ᵍ Koth lieferten flüchtige Säuren = 0,328ᵍ H_2SO_4.

Versuch IV, 13. October.

Kothmenge 668ᵍ.
150ᵍ extrahirt lieferten flüchtige Säuren entsprechend 140ᶜᶜᵐ Barytwasser
1ᶜᶜᵐ Barytwasser = 0,001987ᵍ H_2SO_4.
150ᵍ Koth lieferten flüchtige Säuren = 0,278ᵍ H_2SO_4.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate vorstehender Bestimmungen zusammengestellt. Columne 3 gibt die Gesammtmenge der flüchtigen Säuren des Harnes, Columne 4 dieselbe nach Abzug

von Salzsäure und Benzoësäure, beide Male berechnet auf ein Gemenge gleicher Theile Essigsäure und Buttersäure.

1	2	3	4	5	6	7
	Harn			Koth		Flüchtige Fettsäuren in 24 Std. in den Excrem. ausgeschieden
	Gesammtmenge in 24 Stund.	Flüchtige Säuren im Ganzen	Flüchtige Säuren excl. HCl u Benzoësäure	Gesammtmenge in 24 Stund.	Flüchtige Säuren	
	g	g	g	g	g	g
Versuch I, 4. August	992	2.937	2.201	?	1,802*)	4,003
Versuch II, 5. August	830	2.854	2,175	?	1,802*)	3,977
Versuch III, 2. October	815	1,444	0,935	565	1,800	2,735
Versuch IV, 13. October	1241	3,711	2,934	668	1,803	4,737
Versuch V, 17. October	812	1,859	1,270	?	1,802*)	3,072

*) Der Fettsäuregehalt des Kothes ist nur in Versuch III und IV direct bestimmt. Da die hier gefundenen Zahlen fast völlig übereinstimmen, so durfte dieselbe Menge auch für die übrigen Versuche angenommen werden.

Die in 24 Stunden ausgeschiedene Menge von flüchtigen Fettsäuren beträgt demnach im Maximum ca. 5g, im Mittel etwa 4g, die sich zur Hälfte auf den Harn, zur Hälfte auf den Koth vertheilt.

Das zur Fütterung benützte Wiesenheu enthielt 25,9 % Rohfaser[1]). In Betreff der Löslichkeit der Heurohfaser im Darm liegen mir eine Anzahl mit Ziegen in unserem Institut ausgeführter Versuche vor, bei denen von derselben Wiese stammendes Heu verfüttert wurde. Nach den noch nicht publicirten Ergebnissen derselben, dürfen wir für die Heurohfaser einen Löslichkeitscoëfficienten

1) Rohfaserbestimmung.
2,7500g lufttrocken enthielten, bei 100—105° getrocknet, 2,4870g Trockensubstanz = 90,44 %.

a) 3,0000g lufttrocken = 2.7132g Trockensubstanz lieferten 0,7180g aschenhaltige Rohfaser = 0 6997g aschefreie Rohfaser = 25,8 %;
b) 3,0000g lufttrocken = 2,7132g Trockensubstanz lieferten 0,7255g aschehaltige Rohfaser = 0,7070g aschefreie Rohfaser = 26,1 %;
c) 3,0000g lufttrocken = 2,7132g Trockensubstanz lieferten 0,7210g aschehaltige Rohfaser = 0,7026g aschefreie Rohfaser = 25,9 %. 0,4705g Rohfaser lieferten 0,0120g Asche = 2,55 %.

von rund 60% annehmen [1]). Bei einem täglichen Futter von 1,5 kg Wiesenheu sind demnach von unserem Versuchsthier in 24 Stunden etwa 233 g Cellulose zersetzt. Diese würden bei vollständiger Vergärung ca. 157 g flüchtige Fettsäuren geliefert haben. Da von diesen nun 4 g in den Excrementen ausgeschieden sind, so ergibt sich, dass die flüchtigen Fettsäuren bis auf 2,6% im Körper verbraucht sind.

1) Vgl. die folgenden Zahlen, die von Henneberg bei Versuchen an Hammeln und Fütterung mit 1,5 kg Wiesenheu gefunden wurden (Neue Beiträge, Heft I S. 197).

Von der Rohfaser des Futters fehlten im Koth:

Hammel	III, 1.	Periode	56,7%	im Mittel 59,7%.
„	III, 2.	„	56,9%	
„	IV, 1.	„	62,1%	
„	IV, 2.	„	62,9%	

Untersuchungen über das Vorkommen von Keratin in der Säugethierschnecke.

Mitgetheilt von

Dr. H. Steinbrügge.

1) Nachdem es gelungen war, mittelst der von A. Ewald und W. Kühne angegebenen Verdauungsmethode[1]) das Vorkommen von Keratin in der Mehrzahl der aus dem äusseren Keimblatt stammenden Gewebe nachzuweisen, erschien es von Interesse, zu erfahren, ob dieser Stoff auch in den Gebilden des Gehörlabyrinthes enthalten sei, welche bekanntlich gleichfalls aus einer Einstülpung des Ektoderms hervorgehen. — Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf die Bestandtheile des Ductus cochlearis, und wurden bei denselben Präparate aus den Gehörschnecken von Kaninchen, Meerschweinchen, Kälbern und vom Menschen verwendet. Die Herstellung der Präparate erfolgte nach Härtung und Decalcinirung der Gehörorgane mittelst Chromsäure, welche Anfangs zu $^1/_6$%, dann $^1/_4$% und zuletzt $^1/_2$% stark zur Anwendung kam. Der $^1/_2$proc. Lösung ward ferner Salzsäure oder Salpetersäure in der Stärke von 2%, oder bei kleineren Felsenbeinen auch 15 proc. Essigsäure zugesetzt. Nachdem der Knochen schnittfähig geworden, und in Wasser abgespült war, ward derselbe drei Stunden lang in Alkohol (95°) gelegt, darauf sechs Stunden lang in fliessendem Wasser ausgewaschen, und endlich in Alkokol aufbewahrt (Methode nach Waldeyer-Gottstein).

Die Verdauungsflüssigkeit wurde durch 24stündige Digestion von 10^g Trocken-Pankreas mit 50^g 0,1 proc. Salicylsäurelösung bei 40° C. dargestellt, das Filtrat mit Sodalösung schwach alkalisch gemacht, und zum Schutze gegen Fäulniss thymolisirt.

Zum Einschliessen der Präparate in die Verdauungsflüssigkeit, erwiesen sich nach mehrfachen Versuchen kreisförmig ausgeschnittene Objectträger, welche mit Canadabalsam oder Wasserglas auf gewöhnliche Objectträger gekittet waren, am geeignetsten Da der kreisförmige Ausschnitt 21^{mm} im Durchmesser, und die Dicke des Objecträgers 2^{mm} betrug, so fasste der cylindrische Hohlraum ungefähr 700^{cmm} Verdauungsflüssigkeit. Durch ein grösseres Deckgläschen konnte derselbe gut abgeschlossen werden, und liessen sich die in dieser Weise

---

[1]) Verhandlungen des naturhistor. med. Vereins zu Heidelberg Bd. 1 N. F. S. 451 u. 457.

eingebetteten Präparate innerhalb der Verdauungsflüssigkeit mikroskopisch mit Hartnack Syst. 4 in situ zur Genüge beobachten, so dass eine Lageveränderung, welche bei den leicht zerstörbaren Labyrinthpräparaten gern vermieden wird, umgangen werden konnte.

Im Ganzen wurden 28 Präparate der Verdauungsmethode unterzogen. Bei 8 derselben war das Ergebniss theils durch Tyrosin-Ausscheidung, theils durch Fäulnissbacterien oder andere Zufälligkeiten zweifelhaft; sie bleiben daher unberücksichtigt. Die Verdauungsresultate fielen bei den übrigen 20 Präparaten verschieden aus, es erscheint daher geboten, die einzelnen Versuche in Kürze mitzutheilen.

Präparat Nr. 1. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke durch Chrom-Essigsäure erweicht, zeigt die Membr. basilaris mit Corti'schem Organ und Corti'scher Membran[1]). Nach 24stündigem Verbleiben[2]) im Verdauungsofen bei 40° C. restirte nur noch das Knochengewebe der Schnecke, Nerven, Blutgefässe, Ligament. spirale, Zelltrümmer[3]).

Präparat Nr. 2. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Essigsäure). Membr. basilaris mit Corti'schem Organ; nach 22 Stunden verdaut.

Präparat Nr. 3. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Salzsäure). Membr. basilaris, Corti'sches Organ, Reissner'sche Membran, Stria vascularis; nach 18 Stunden aufgelöst.

Präparat Nr. 4. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Salpetersäure). Membr. basilaris, Corti'sches Organ, Corti'sche Membran. Nach 24 Stunden gelöst, bis auf einen Theil der Membr. basilaris.

Präparat Nr. 5. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Salpetersäure) Membr. basilaris, Corti'sches Organ. Letzteres nach 22 Stunden verdaut, die Basilarmembran nicht.

Präparat Nr. 6. Verticalschnitt aus einer menschlichen Schnecke (Chrom-Salpetersäure) Membr. basilaris, Corti'sches Organ. Nach vier Tagen ungelöst, trotzdem die Trypsinlösung inzwischen durch frisch bereitete ersetzt worden war.

Präparat Nr. 7. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Salpetersäure). Nach drei Tagen unverändert.

Präparat Nr. 8. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Salzsäure). Nach 24 Stunden unverdaut.

Präparat Nr. 9. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Essigsäure). Membr. basilaris Corti'sches Organ. Nach 24 Stunden verdaut.

---

[1]) Es werden an den Präparaten nur diejenigen Theile bezeichnet, welche speciell dem Ductus cochlearis angehören, deren Löslichkeit also bei der Keratinfrage in Betracht kommt.

[2]) Die Zeitangabe bezieht sich auf die Vornahme einer ersten mikroskopischen Untersuchung; eine früher erfolgte Lösung ist dadurch selbstverständlich nicht ausgeschlossen.

[3]) Die stets restirenden Nerven und bindegewebigen Theile werden bei den folgenden Versuchen nicht mehr erwähnt.

Präparate Nr. 10 11. 12. Präparate aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Essigsäure). Membr. basilaris. Corti'sches Organ. Nach 48 Stunden war das Corti'sche Organ an allen Präparaten grösstentheils gelöst, bis auf Reste der äusseren Pfeiler, deren Fussstücke nebst der hyalinen Membran der Lamina spiral. membranacea erhalten geblieben waren.

Präparat Nr. 13. Verticalschnitt aus einer Kalbsschnecke (Chrom-Salzsäure). Membr. basilaris. Corti'sche Membran. Nach 22 Stunden verdaut.

Präparat Nr. 14. Verticalschnitt aus einer Kaninchenschnecke (Chrom-Essigsäure). Membr. basilaris. Corti'sches Organ. Corti'sche Membran. Nach 48 Stunden Lösung der Corti'schen Membran; Conservirung der Membr. basilaris und einiger Reste der äusseren Corti'schen Pfeiler, während die übrigen Bestandtheile des Corti'schen Organs verschwunden sind.

Präparate Nr. 15. 16. Flächenpräparate aus zwei Meerschweinchen-Schnecken, in $^{1}/_{2}$ proc. Kochsalzlösung, ohne vorherige Decalcinirung und ohne Zusatz sonstiger Reagentien angefertigt. Undeutliche Bilder. Es liess sich jedoch constatiren, dass die Basilarmembranen nach 24 Stunden vollständig aufgelöst waren.

Präparate Nr. 17. 18. Flächenpräparate aus zwei Meerschweinchen-Schnecken, wie die vorigen hergestellt. Dasselbe Resultat nach 24 Stunden, nur waren einige Saiten der Zona pectinata erhalten geblieben.

Präparate Nr. 19. 20. Eine frische Meerschweinchen-Schnecke ward fünf Minuten lang gekocht, dann in Trypsinlösung gelegt. Die Schnecke der anderen Seite ward mit Pepsinlösung in 0,2 proc. Salzsäure behandelt. In beiden Schnecken mussten somit auch die bindegewebigen Bestandtheile verdaut werden. Nach fünftägigem Verbleiben im Verdauungsofen wurde der restirende, sorgfältig aufgefangene Inhalt beider Schnecken mikroskopisch untersucht und dabei nur Nerven und Gewebstrümmer, dagegen keine Spuren erhaltener Gebilde des Ductus cochlearis gefunden.

Resumiren wir nun die Resultate der Verdauungsversuche, so fand elfmal eine vollständige, sechsmal eine unvollständige Lösung statt, während drei Präparate (Nr. 6. 7. 8.) durch die Verdauungsflüssigkeit auf die Dauer von drei bis vier Tagen gar keine Veränderung erfuhren. Die überwiegend positiven Ergebnisse hinsichtlich der Lösung, beweisen jedenfalls, dass die aus dem Epithel des Ductus cochlearis hervorgegangenen Gebilde keine irgendwie erhebliche Keratinmengen enthalten können.

Ob letzteres stellenweise in den zelligen Gebilden des Corti'schen Organes, z. B. in den Hörhärchen oder in den Fortsätzen der Deiters'schen Zellen vorhanden sei, wird sich schwerlich mit Hilfe der Verdauungsmethode eruiren lassen, da bei beginnender Auflösung der die Zellen fixirenden Lamina reticularis und basilaris, sowie der Zellkörper selbst, eine derartige Zerstörung des Präparates eintritt, dass eine Controle der kleinsten, überall hin sich zerstreuenden Partikelchen unmöglich wird. — Wie erklären sich nun die unvollständigen und ganz negativen Verdauungsresultate? Es lag nahe, an eine Modification der Gewebe durch die vorhergehende längere Einwirkung der verschiedenen Säuremischungen zu denken, wodurch dieselben möglicherweise eine gewisse

Resistenz gegen die Verdauungsflüssigkeit erlangt haben konnten [1]). Da jedoch Lösung sowohl wie Nichtlösung in der Trypsin enthaltenden Flüssigkeit bei allen Combinationen der Chromsäure mit den übrigen Säuren (Salz-, Salpeter-, Essigsäure) beobachtet worden war, so liess sich daraus kein weiterer Schluss auf eine specielle Einwirkung einer solchen Mischung ziehen, und es entstand die Frage, ob nicht die in allen Fällen zur Anwendung gekommene Chromsäure, deren härtende und conservirende Eigenschaften bekannt sind, die Ursache der jeweiligen Resistenz gegen Verdauungsflüssigkeiten gewesen sein könne, und die Unterschiede, hinsichtlich der Löslichkeit, auf die kürzere oder längere Dauer der Einwirkung der genannten Säure zurückzuführen seien.

Zur Prüfung dieser Frage ward eine Fibrinflocke, welche während der Dauer von fünf Wochen in einer $^1/_2$ proc. Chromsäurelösung gelegen hatte, nach 24stündigem Auswaschen in fliessendem Wasser, in einer Pepsin-Salzsäuremischung bei 40° C. belassen, welche eine gewöhnliche Fibrinflocke in wenigen Minuten löste. Die mit Chromsäure behandelte Flocke erwies sich nach 24 Stunden als ganz unverändert.

Ferner ward einiges Bindegewebe einer Maus, welches ein Jahr lang in 1 proc. Chromsäurelösung gelegen hatte [2]), ausgewaschen, in Alkohol gelegt, nach einigen Tagen gekocht, und 24 Stunden lang mit Trypsinlösung im Verdauungsofen behandelt. Das unverändert gebliebene Gewebe ward darauf 48 Stunden lang der Einwirkung einer Pepsin-Salzsäurelösung ausgesetzt, und trotzdem restirten nach Verlauf jener Zeit noch mikroskopisch leicht nachweisbare Bindegewebsfibrillen, nebst zahlreichen elastischen Fasern.

Aus diesen Versuchen erhellt, dass Albuminate und Bindegewebe, durch längeres Verweilen in schwachen Chromsäurelösungen eine gewisse Resistenz gegen die Einwirkung des Pepsins und Trypsins erlangen. Nimmt man an, dass einige der zur Verwendung gekommenen Felsenbeine längere Zeit als die übrigen bis zur vollendeten Entkalkung gebraucht haben, so lässt sich die Verschiedenheit der oben mitgetheilten Verdauungsresultate zur Genüge erklären. Mit Bestimmtheit lässt sich diese Annahme für das Präparat Nr. 6 aus der menschlichen Schnecke, welches nach vier Tagen in der Trypsinlösung noch unversehrt geblieben war, geltend machen, da die menschlichen Felsenbeine bei Anwendung der früher mitgetheilten Chrom-Salpetersäuremethode acht bis zehn Wochen erfordern, bis sie schnittfähig geworden sind. Bei den kleineren Thieren erfolgt die Erweichung bekanntlich viel schneller, differirt aber auch hier je nach dem Alter der Thiere, und der Härte des Knochens.

---

[1]) Dass eine Verzögerung der künstlichen Verdauung, ja sogar eine vollständige Aufhebung der Löslichkeit in Verdauungsflüssigkeiten durch Einwirkung gewisser Reagentien eintreten könne, hat u. A. Chittenden (diese Zeitschrift Bd. 3 S. 171 ff.) für das in frischem Zustande in Trypsin leicht lösliche Sarcolemm nachgewiesen, dessen Verdaulichkeit durch Verweilen in Alkohol vermindert, durch Behandlung mit Osmiumsäure dagegen ganz aufgehoben wird. Bindegewebe mit Osmiumsäure und Alkohol behandelt, wird, nach demselben Autor, gleichfalls gegen Verdauungsflüssigkeiten resistent, kann aber durch Kochen wieder löslich gemacht werden.

[2]) Ich verdanke dasselbe der Güte des Herrn Prof. A. Ewald.

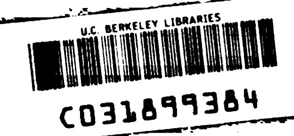
Soviel dürfte jedenfalls aus dem Mitgetheilten hervorgehen, dass die Unverdaulichkeit einzelner Theile der mit Anwendung der Chromsäure hergestellten Schneckenpräparate nicht auf die Anwesenheit von Keratin bezogen werden darf. Endlich diente auch die Lösung der frisch aus der Meerschweinchenschnecke, ohne alle Reagentien gewonnenen Präparate zur Bestätigung der bereits gewonnenen Resultate. — Wenn somit das Vorkommen von Keratin in den Gebilden des Ductus cochlearis unwahrscheinlich geworden ist, so lässt sich die Möglichkeit nicht abweisen, dass dasselbe an anderen Stellen des Labyrinths, z. B. im Neuroepithel der Säckchen und Ampullen gefunden werde. Wir haben aber, wenn wir uns der Verdauungsmethode zum Nachweis des Keratins bedienen wollen, auch dort wieder mit denselben Schwierigkeiten zu rechnen, die darauf beruhen, dass brauchbare mikroskopische Objecte nicht ohne härtende Reagentien hergestellt werden können, welche, nach Art der Chromsäure und Osmiumsäure, die künstliche Verdauung vielleicht zu beeinträchtigen, und dadurch die Beurtheilung der Ergebnisse derselben zu erschweren vermöchten. Es wurde daher von der Ausdehnung der Verdauungsversuche auf das übrige Labyrinth einstweilen Abstand genommen.

Von Herrn Geheimrath Kühne, welcher mir mit grosser Freundlichkeit die Räume und Hilfsmittel des physiologischen Institutes für meine Untersuchungen zu Gebote stellte, wurde ich bei denselben vielfach mit Rath und That unterstützt; es gereicht mir zur Freude, demselben an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank dafür aussprechen zu können.

Nachträgliche Berichtigungen zu G. Th. Fechner's Abhandlung.

p. 127 Z. 8 v. u. statt Nr. 1 lies Nr. 2.
p. 139 Z. 13 v. o. „ zweimal lies 72mal.
p. 171 Z. 8 v. o. „ — 0,0078 lies — 0,2078.
p. 190 Z. 1 v. u. „ Unterschiedsempfindlichkeit lies Empfindlichkeit.
p. 248 Z. 5 v. o. „ Σ^2 lies $\Sigma\varepsilon^2$.
p. 259 Z. 14 v. u. „ , h lies h,
p. 265 Z. 15 v. o. „ h lies k.
p. 265 Z. 7 v. u. „ $TW\gamma$ lies $FW\gamma$.
p. 272 Z. 12 u. 13 v. o. sind die Bezeichnungen wissentlich und unwissentlich zu vertauschen.




U.C. BERKELEY LIBRARIES
C031899384

